ISSN 1345-5923

岐阜県生産情報技術研究所研究報告

第7号　　平成17年度

岐阜県生産情報技術研究所
Gifu Prefectural Research Institute of Manufacturing Information Technology

目　　次

誰にでも使える作業指向型ユーザインタフェースに関する研究（第2報）

大野　尚則　　　棚橋　英樹

Study on a easy interface for 3D viewer(Ⅱ)

Naonori OHNO　Hideki TANAHASHI

あらまし　現在，コンピュータソフトウェアは様々な業務に利用されるようになってきており，特にGUI（Graphical User Interface）技術により，その利用環境も従来と比べ便利になっている．しかしながら，ソフトウェアの操作については，マウスを用いることが一般的であり，作業によっては必ずしも最適な操作装置とはいえない．本研究では，昨年度に引き続き，マーカを手元で操作することで３次元データを操作する手法を応用した誰にでも利用できる直感的な３次元設計データ閲覧システムを試作し，その評価を行ったので報告する．
キーワード　入力装置，３次元，データ閲覧

１．はじめに

製品の設計検討を行う場合，３次元設計データの検討対象となる箇所を迅速に表示することは，検討が円滑に行われるためにも重要である．近年，３次元設計データを閲覧することを目的としたソフトウェア（以下，ビューア）が普及してきたが，その操作装置にはマウス等の２次元操作デバイスが現在も一般的に利用されている．しかしながら，非熟練者が３次元設計データを直感的に且つ迅速に操作することは困難で，円滑に操作するためには習得期間が必要である．

昨年度，ビューアなどの３次元空間内に表示された設計データの操作を誰にでも直感的に行うことができる方法を提案し，簡単な試作を行った[1]．これはCCDカメラにより，画像内のあらかじめ定義しておいたマーカの位置・姿勢を算出し，このマーカを対象データと関連付けを行うことで，設計データを操作する手法である．利用イメージを図１に示す．

本稿では，昨年度の成果を拡張させ，直感的に操作できる３次元設計データ閲覧システムを試作し，その評価を行ったので報告する．

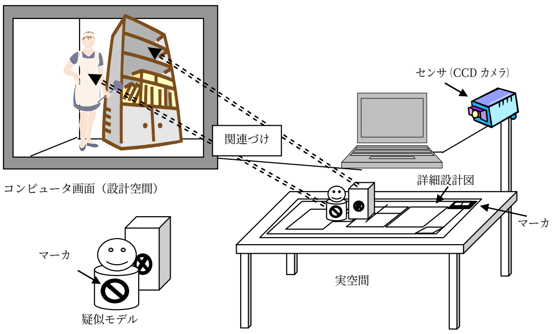


図1　利用イメージ

２．システム概要

２．１　構　成

開発したシステム全体を写真１に示す．また，図２にブロック図を示す．本システムは，３次元データを表示するプロジェクタ，机上に置かれたマーカ（図３）の映像を取得するCCDカメラ，カメラから得られた映像からマーカの種別・位置・姿勢を算出し，この情報に基づき任意の設計データを表示するソフトウェアから構成される．本システムに利用した機器を表１に示す．

２．２　システムの流れ

システムの流れを図４に示す．まず,CCDカメラで撮影した映像を画像メモリに取り込む．次に，この画像を処理することにより，マーカの３次元空間中の位置を実時間で算出する．これら一連の処理は，扱う画像の大きさにもよるが，現在のシステムで30～60f/sで行うことができる．

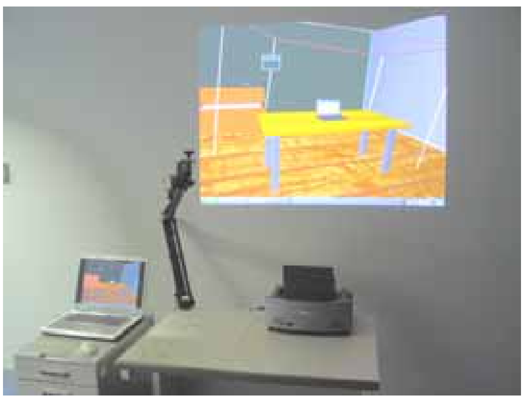


写真１　全体写真

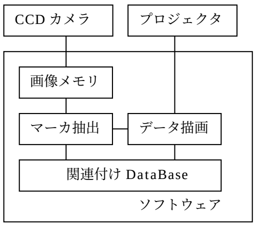


図２　ブロック図

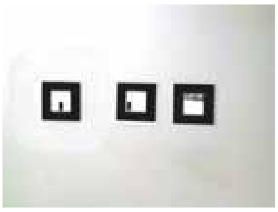


図３　設計データと関連付けられたマーカ

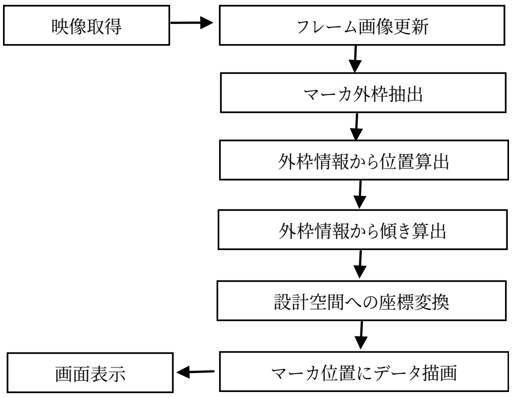


図４　システムの流れ

ARToolKit[2]は画像からマーカの抽出と３次元位置の算出を高速に行うソフトウェアライブラリであり，空間中のマーカ上にあたかもCGデータが存在するかのように現実世界に重ね合わせて表示する際に利用される.

本研究では映像上のマーカ情報（位置・傾き）を算出するためにARToolKitを用いており，CCDカメラ映像には重ね合わせ表示はせず，マーカに関連付けされた３次元データを操作するために用いる．例えば写真１のように部屋全体のデータや机のデータ等を特定のマーカに関連付けることにより，それぞれのデータを操作でき，机上のマーカの相対的な位置関係が，コンピュータ内の次元空間の位置関係となるため，直感的な操作が実現できる．マーカを入れ替えることにより，３次元データを入れ替えることも可能である.

３．評価実験

本システムを用い，マーカの位置・姿勢情報の算出精度を検証した．ARToolKitのマーカ算出手法の特徴から，取得映像に大きく影響することがわかっている[3]．そのため，図５に示す環境にて１辺27mmのマーカを用い実験を行った．マーカ配置面にマーカを密に移動させ，その位置での法線ベクトルと中心位置を算出した．その結果を図５，６に示す．カメラ座標系のXcZc平面においてマーカの傾きは配置面の法線ベクトルと比較した結果，-12.3～7.2°であった．また，マーカの位置は近似直線に対し約±10mmの範囲内に収まっている．このことから位置よりも傾きの誤差が大きいことがわかる.

表1　構成機器

PC	PenM2G, MEM1GB(Dell)
CCDカメラ	130万画素 1/2inch CMOS(フォルテッシモ)
レンズ	HHF06M　f=6mm (SPACECOM)
表示装置	ミラープロジェクタWT610 (NEC)
ライブラリ	ARToolKit ver.2.65
カメラスタンド	多関節カメラスタンド (SFC)

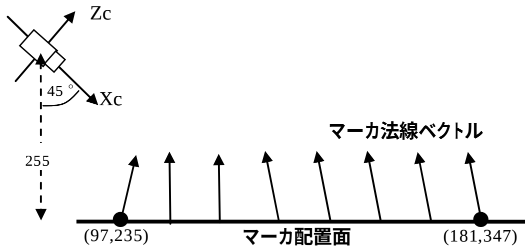


図５　マーカ傾き

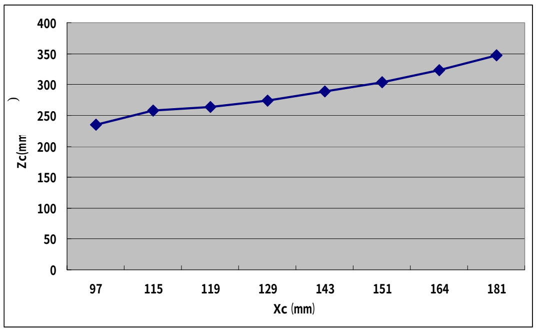


図６　マーカ位置

４．まとめ

３次元CAD等で設計データを表示する３次元空間内の操作を，誰にでも可能とするシステムを試作した．本システムにより，手元でマーカの移動・回転を行うことで，３次元空間内のデータ操作を行うことが可能である.

しかしながら，本検出方法では画角と画角中に検出されるマーカの画像サイズの相対的な比率に精度が大きく影響される．またカメラとマーカの位置が近い場合には，隣り合うマーカの映像が大きく変わってしまうため，カメラの位置をマーカからなるべく離すことが必要である.

文　献

[1] 大野尚則，棚橋英樹，“ 誰にでも使える作業指向型ユーザインタフェースの開発 ”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告No.6,　pp.9-10, 2004.

[2] Hirokazu Kato et. Al., ”ARToolKit”, http;//www.hitl.washington.edu/artoolkit/, 2005.

[3] Hirokazu Kato and Mark Billinggurst, “Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System”, proc. of IWAR 99, 1999.

実環境重畳型プロジェクションシステムの検討

― 実環境重畳型ユビキタス情報提示システムに関する研究 ―

山田 俊郎 棚橋 英樹

Study on a projection system which superimposes on the real world

Ubiquitous display which superimposes on the real world

Toshio YAMADA Hideki TANAHASHI

あらまし いつでもどこでも情報通信機器が利用できるユビキタス環境が関心を集めており，携帯電話をはじめとする情報機器で場所に応じた情報を受け取ることができるようになってきている．しかしながら，情報の提示手法については従来からの液晶モニタの利用がほとんどであり，より実空間と関連付けたわかりやすい表示が求められている．本報告では，プロジェクタを用いて実空間に重ね合わせて情報を投影する手法を提案し，この場合に発生する映像のひずみを補正する手法を提案する．

キーワード ユビキタス，プロジェクション，実世界志向インタフェース

1．はじめに

いつでもどこでも情報機器が利用できるユビキタス環境が関心を集めており，携帯電話をはじめとする情報機器で場所に応じた情報を受け取ることができるようになってきている．ユビキタスコンピューティングの研究では利用者の位置に応じた情報を的確に提供することに主眼が置かれており，本研究においても昨年度の報告で位置情報取得に関する検討を行った[1]．

位置情報が自動取得できると，位置に応じた情報を自動的に提供することが可能になるが，情報の提示手法については従来からの液晶モニタの利用がほとんどである．そのため，実空間と情報空間の対応付けは人が行うこととなり，提示された情報を理解するには液晶モニタと周囲を交互に見回して頭の中で関連付けを行うこととなる．

本の研究では，プロジェクタの映像を実環境上に投影することで，実空間と情報空間の位置を合わせた情報提示を行うこととしたが，プロジェクタの投影では，投影面に対して投影の軸が傾くと映像が歪む性質がある．本報告では，その歪みを補正する手法を提案する．

2．プロジェクタによる投影

通常プロジェクタで映像を投影する場合，スクリーンに対して投影軸のヨー方向(左右方向)が垂直になるように設置する．また，ピッチ方向(上下方向)はプロジェクタの設計時に決められた角度で，投影軸周りのロール方向の回転は0となるように設置する．このように設置すれば，投影した映像は正常な矩形となるが，プロジェクタの姿勢を意図的に傾けると，投影画像は歪んだ四角形になり，投影される画像にも歪みが生じる．プロジェクタをユビキタスディスプレイとして利用する場合，利用者が情報を得たい方向にプロジェクタを向ける操作が自然であるため，プロジェクタの姿勢は理想的な位置に限定することはできない．斜め方向から投影されてもこの歪みを補正し，プロジェクタの姿勢によらず自然な映像を提示することが求められる．

図1に示すように，仮想的に壁面全体に広がっている格子模様をプロジェクタで部分的に投影する場合を考える．プロジェクタが正常な設置方法である場合，壁面上の投影領域はAとなり，壁面上の映像とプロジェクタへの入力映像A’は同じ形となる．ここでプロジェクタの姿勢を傾け，左上方向を投影するように傾けると投影領域はBとなり，ここに自然な格子模様を投影するための入力画像はB’となる。このように，プロジェクタの姿勢に合わせて入力画像を変形させることで，投影面上に歪みのない自

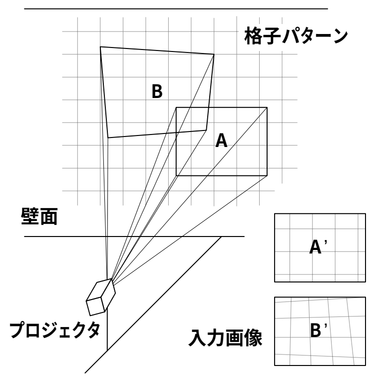


図1 プロジェクタの姿勢と投影画像

然な映像を投影することができる.

画像を任意の形に変形する手法として，一般にアフィン変換が用いられる．アフィン変換では回転・移動・スケール等の線形変換が可能であるが，自然な画像を作るには，アフィン変換で射影された画素の間を補間する必要がある．これら画像の変換にかかる処理は多くの計算量を必要とするが，グラフィックカードの機能を用いると,CPUに負荷をかけずに効率的な変換処理を行うことが可能である．そのため，プロジェクタの姿勢による画像変換の問題を3次元グラフィック(CG)のカメラ姿勢の問題に置き換え，3次元CGの機能で処理することとした.

3．3次元グラフィック機能による画像変換

図2に示すように,プロジェクタの向きと投影画像の関係をヨー方向の回転の場合で考え，投影面とプロジェクタの間には投影の光軸に垂直な仮想スクリーンを想定する．投影面に対してプロジェクタの光軸が垂直であるとき，仮想スクリーンPa上には，映像の投影領域Waと同じ幾何形状の画像がスケール変換されて投影されることとなる．次に，プロジェクタをθ度回転させたとすると，投影領域はWbに移動するが，仮想スクリーンPbはプロジェクタから見るとPaと同一である.WbとPbの関係を求め,Wb上で正しく見える画像をPb上に作ることで，WaとWbで連続した幾何形状の正しい画像を投影することができる.

ここで,プロジェクタと投影面の関係を3次元グラフィックに置き換えて考える.図2のように，プロジェクタはレンダリングの視点であるカメラに,投影面は3次元モデルの仮想投影面に,仮想スクリーンは3次元CGの射影面にそれぞれ置き換えられ，カメラの姿勢はプロジェクタの姿勢と同一とする．仮想投影面上の領域Wbの画像は，カメラからの見えに応じた幾何形状で射影面Pbに射影される．このPb上に射影される画像をプロジェクションにおける仮想スクリーンの画像とすることで，投影面上には正しい幾何形状の画像を投影することができる.

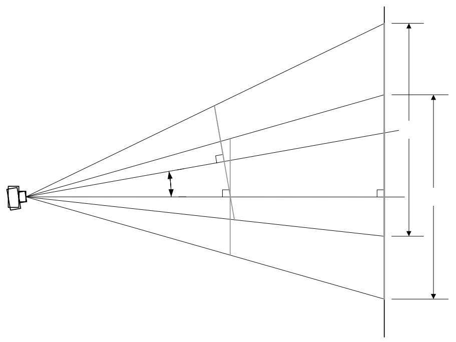


図2　投影面とプロジェクタの位置関係（水平面）

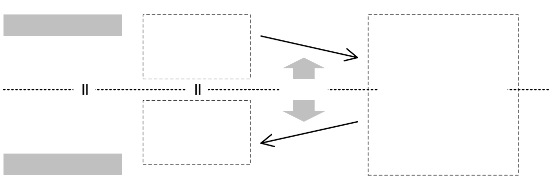


図3　画像変換のフロー

プロジェクタの垂直方向の傾きと光軸周りの回転の変換も重ね合わせ，同様に変換することによって，3次元CGの機能で任意の姿勢の投影画像を作ることができる．この変換のフローを図3にまとめる.

4．結果とまとめ

本提案システムの実現例を図4,5に示す.ユビキタスシステムとして持ち歩くことを目的としているため，プロジェクタ(NEC LT-170J)の姿勢の計測には，環境側に特別な設備を必要としない3Dモーションセンサ(NEC/Tokin MDP-A3U9S)を採用した.図4はプロジェクタから水平方向に格子パターンを投影した場合と，左上に向けて投影した場合の2枚の写真を合成したものである.プロジェクタを左上に傾けても格子パターンに歪がなく，水平に投影した場合の格子パターンと連続していることがわかる.図5は地図画像を投影した例である.広い範囲の地図画像から、プロジェクタの動きに連動した部分画像をスクロールさせて表示することができた.

今後はユビキタスディスプレイとして実用的なサイズになるようプロジェクションシステムの小型化を進めるとともに，位置センシングと組み合わせた情報提示システムを完成させる予定である.

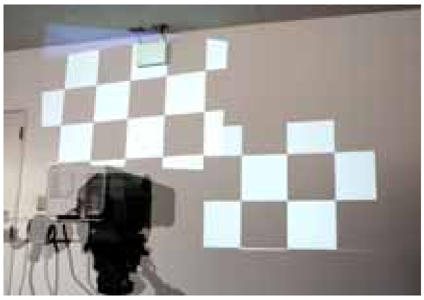


図4　格子パターンの投影（2枚の写真を合成）

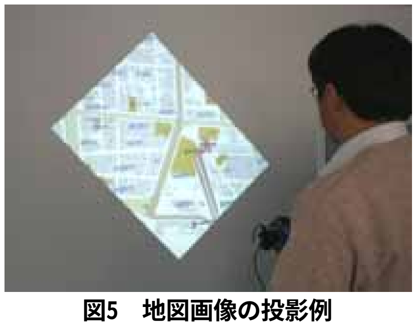


図5　地図画像の投影例

文　献

[1] 山田俊郎，棚橋英樹，“ RFIDタグを用いた位置センシング手法の検討 ”，岐阜県生産情報技術研究所報告 No6，pp.11-14，2005.

診療記録システムの開発

浅井 博次　　棚橋 英樹　　速水 悟*

Development of Intervention Record System

Hirotsugu ASAI　Hideki TANAHASHI　Satoru HAYAMIZU*

あらまし　近年，救急医療や手術などの診療行為を動画で記録する試みが増加しているが，動画の撮影方法や記録した動画の活用について十分な検討がなされていないため，有効に機能していないのが現状である．本研究では，動画による診療記録システムの実効的な運用実現を目指し，直感的なカメラ制御インタフェースと標準的治療プログラムを活用した処置入力機能により，記録すべき映像を確実に記録できる機能と記録した映像内容を容易に確認できる機能を実現した診療記録システムを試作したので報告する．

キーワード　診療記録，標準的治療プログラム，動画記録，救急医療

１．はじめに

医療においては，責任の所在を明確にすることが要求されるため，実施した処置を記録として残すことは必須事項である．近年では，医療の透明性や情報開示への要求の高まりから,記録の量と質が問題となってきている．

従来から行われている診療記録ではカルテに代表されるように実施した行為や所見の要約をテキストベースで記録している．要約であるため，記載される内容や量は記録する医師に左右されることが多く，客観的で正確な要約を記録することは容易ではない．また，診療対象によっても診療記録の質は異なる．例えば，救急医療では医療行為記録のために十分な時間を割くことが困難であり，処置後に記憶をもとにカルテを作成することが通例となっているため，不正確または不十分な記録しか残せない恐れがある．このように，要約による記録は診療内容の把握には効果的な方法であるが，記録内容の信頼性など記録の質を保証することが困難であるという問題点がある．

これに対し一部の病院等では救急診療室や手術室に固定したカメラで診療の様子を動画で記録するシステムを導入し，“ 何がなされたか ”だけでなく“ 何がどのようになされたか ” も記録する試みを始めているが，効果的な運用がなされておらず，記録しているだけ，というのが現状である．この原因として，隠れなどにより確認したい箇所の映像が明瞭に撮影できていないこと，記録した映像の内容を確認するのが容易でないこと，が考えられる．先述のシステムの中には，隠れなどに対応するため複数のPTZカメラを使用したシステムもあるが，複数あるカメラを意図通りに制御することは容易ではない．また，記録映像の活用に関する配慮がなされておらず，内容を確認するためには，記録映像を再生して確認するという煩雑な手順を踏む必要がある．

本研究では，動画による診療記録システムの実効的な運用実現を目指し，救急処置の心肺蘇生手順を定めた標準的治療プログラムであるACLSアルゴリズム[1]を利用した処置入力＆カメラ制御手法とポインティングデバイスによる直感的カメラ制御インタフェースにより，記録すべき映像を確実に記録できる機能と記録した映像内容を容易に確認できる機能を実現した診療記録システムを試作したので報告する．

２．診療記録システム

２．１　システム構成

図１に提案システムの概要を示す．提案システムは，PTZ制御可能な4台のカメラを使用し救急処置を記録する記録システムと記録した情報（映像）の内容確認を行うためのビューアシステムから構成されており，処置記録から記録情報の内容確認までの一連の作業を行うことが可能である．

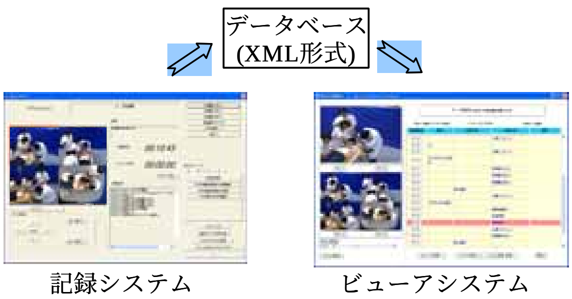


図1　提案システム

＊ 岐阜大学　工学部応用情報学科

記録システムは，状況確認，カメラ制御，処置入力の機能を有しており，入力された処置情報などの情報をXML形式で出力する．記録情報を活用する場合はXMLファイルに記載された情報をもとに処置日時，患者IDなどを用いて対象データを呼び出し，ビューアシステムで処置内容を詳細に確認する．本システムでは，記録時に要求される３つの機能を１つのシステム上に実装することで記録にかかる作業の効率化を図っている．

以下，各機能について説明する．

２．１　処置入力方法

記録システムでは，表示される処置メニューから目的の処置ボタンを選択することで処置名・実施時間を入力できる機能を実装した．医療分野で急速に策定が進んでいる治療ガイドラインを活用し，遷移メニュー，常駐メニューの2つのメニューを表示することで容易な処置入力を実現した．(図2)

治療ガイドラインとは，標準的な治療の判断基準や手順を定めたものである．実際の医療では，ガイドラインに基づいた処置が実施されるため，ガイドラインを活用することで次に実施される処置をある程度予測することが可能となる．本システムでは，救急処置の心肺蘇生に関するガイドラインであるACLSアルゴリズムを実装し，遷移メニュー欄に次に行う可能性の高い処置行為を，常駐メニュー欄にACLSで実施されるすべての処置を表示する．常駐メニューでは，気道(Airway),呼吸(Breathing),循環(Circulation),除細動(Defibrillation)または鑑別診断(Differential Diagnosis) に処置を分類しタブ構成で表示することで，一度に表示されるメニュー数を抑制し，遷移メニューに表示されない処置項目への容易なアクセスを実現した．これら2種類のメニュー表示により，すばやい処置入力と自由な処置入力を両立した．

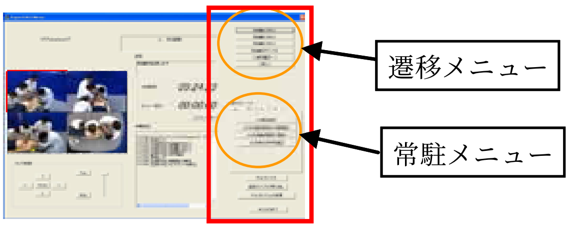


図2　処置入力インタフェース

２．２　カメラ制御方法

人や医療機器などによる隠れや状況に応じて必要な映像を確実に記録するためにカメラ制御は必須であるが，任意に設置された複数のカメラを意図したとおりに制御することは容易ではない.そこで本システムでは2種類のカメラ制御機能を実装している．

その１つが処置入力に連動したカメラ制御機能である．多くの処置では，処置領域(頭部，胸部，口など)，標準的な医者の立ち位置など，適した撮影をするための情報を規定することができる．これらの医療知識とカメラの設置情報を基に，それぞれの処置に対して有効な撮影が可能なカメラ制御パラメータをあらかじめ規定しておき，処置が入力された時にその規定に従ってカメラを制御する．これにより，カメラ制御を意識することなく複数のカメラを状況に応じて効果的に制御することができる．

もう１つのカメラ制御機能がポインティングデバイスを用いて任意のカメラを直感的に制御できるインタフェース[2]である（図3)．本インタフェースでは，記録システム内に表示されるカメラ映像領域上をポインティングデバイスでクリックするだけでクリックした場所が撮影中心となるように対象のカメラを制御することができる．

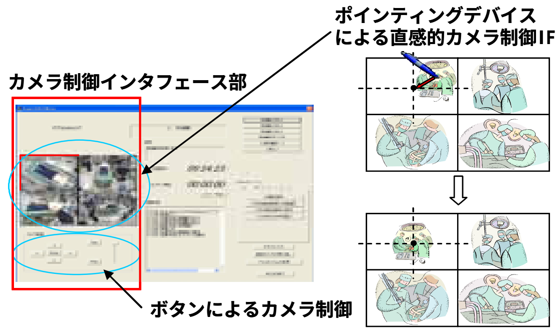


図3　カメラ制御インタフェース

２．３　ビューアシステム

動画記録活用において，最も問題となるのは，動画の内容確認が困難なことである．特に本システムでは，複数のカメラを用いて診療行為を記録するため，記録された複数の動画情報を効率良く確認するための機能が必須である．以下に構築したビューアシステム（図４）に実装した機能を列挙する．

・実施された処置の時系列一覧表示
・一覧表処置項目選択による映像頭出し
・任意カメラ映像の全画面表示機能
・記録映像の同期再生
・処置項目修正・追加機能



図4　ビューアシステム

当該映像記録の処置の流れを一目で把握することができる一覧表と頭出し機能により，記録映像の全体像を掴

みながら詳細な内容確認をすることが可能となる. また, 処置項目の修正・追加機能により確認結果を記録にフィードバックすることができるため, 確認作業の効率化を図ることができる. 処置入力機能で入力できない情報の追加等も可能であるため, 動画記録の質向上にも有効であり, 動画による診療記録データベース構築へと繋がっていくことも期待される.

３. 実験

提案システムをタブレットPCに実装し, ACLS岐阜の開催する救急処置法のシミュレーション教育であるACLSコースにおいて数人の医師（インストラクター）による使用評価を実施した（図5).



図5 使用例

従来のジョイスティック等によるカメラ制御ではカメラ座標系に従って制御されるため意図通りに制御することが困難であったが, 提案したカメラ制御インタフェースでは直感的な操作で意図通りの制御が可能であり, 有効性を確認することができた. 一方, 処置入力用のメニューについては, どこまで詳細な常駐メニューを用意し, どのように提示するか, など更なる検討が必要であるという知見を得た.

動画記録については, 受講生への指導, インストラクターの指導方法などについての事後検討, 遠隔からの状況確認などに有効であることが確認できた.

４. まとめ

本研究では, 動画による診療記録の実効的な活用を目指し, 診療行為を動画で記録し, 記録した動画記録を容易に活用するための診療記録システムの検討を行った. 具体的には, 標準的治療プログラムを利用した容易な処置入力とカメラ制御手法, ポインティングデバイスを用いた直感的なカメラ制御インタフェースを提案した. 更に, これらの機能を実装した記録から内容確認までの一連の作業を容易に実施することが可能な診療記録システムを試作し, ACLS講習会において有効性を確認した.

今後は, 実際の診療現場への適用を目指し, メニューの提示方法, 自動人物追跡や協調カメラ制御などのより知的なカメラ制御手法, 画像認識などによる自動処置入力などの検討を進めていきたい.

謝 辞

本研究は文部科学省知的クラスター創成事業の一環としてなされたものである. 本研究を遂行するにあたりシステム評価の場を提供いただいたACLS岐阜, 多くの有益な助言をいただいた岐阜大学医学部, 三洋電機株式会社の方々に深く感謝する.

文 献

[1] ACLSプロバイダーズマニュアル, ISBN4-521-01681-2
[2] H. Asai, S. Hayamizu, et al., “Intervention Records by Video Image for Emergency Medical Care”, Proc. of the eleventh International Conference on Virtual Systems and MultiMedia, pp.641-646, 2005

協調3次元センシング技術を用いた人物検出手法に関する研究
－生活活動を見守る知的空間の構築に関する研究－

渡辺　博己　　棚橋　英樹　　浅井　博次
平湯　秀和*　　清水　早苗*　　山本　和彦**

Study on a Method of Moving Objects Detection Using Cooperative 3-D Vision
- Construction of Intelligent Environment for Life Supports -

Hiroki WATANABE　Hideki TANAHASHI　Hirotsugu ASAI
Hidekazu HIRAYU*　Sanae SHIMIZU*　Kazuhiko YAMAMOTO**

あらまし　治安の悪化や高齢社会の進展に伴い，ユビキタスコンピューティングを中心とした知的空間技術を用いて生活の安全性，快適性，利便性を向上させることが重要な課題となっている．そこで，知的空間を構築する上で重要となる人物追跡技術に着目し，複数の3次元センサを協調させた人物検出手法の検討を行い，その有効性を評価した．本報告では，知的空間を実現するためのプロトタイプシステムを構築し，複数人物が存在する環境下での人物検出を行った．
キーワード　知的空間，全方向ステレオシステム(SOS)，多視点ステレオカメラ，人物検出

１．はじめに

治安の悪化や高齢社会の進展に伴い，個人生活の安全性，快適性，利便性向上を支援するサービスの需要が増加している．また，コンピュータやセンシング･通信機器の高機能化，小型化により，人の周りでさりげなく見守り，日常生活空間のあらゆる場所で生活をサポートしてくれるユビキタスコンピューティング技術への期待と要望が年々高まっている．

そのような中で，家庭にユビキタスコンピューティング技術を取り入れ，家庭環境を知的化することにより，安心，安全，快適な生活環境を実現する知的空間技術の研究が数多く行われている[1~6]．例えば，米国ジョージア工科大学のAware Homeでは，センサとコンピュータによって家族の状況を把握してくれる家と，その機能を利用したアプリケーションが研究されている[1]．また，(独)情報通信機構のユビキタスホームでは，家電製品だけでなく様々な機器の相互接続性の実証実験や，機能分散協調基盤を中心とする家全体のロボット化，その中での人の行動把握とそれに基づく新たなサービスが研究されている[4]．

様々な生活シーンにおいて，生活に応じたサービスを人に供給するためには，「如何に環境を理解できるか」に集約される環境センシング技術が重要であり，画像センシング技術は解決すべき課題の一つである．画像センシング技術は，人にセンサを装着させることが無いため，日常生活を束縛することなく生活行動を取得できると共に,人とその周りの環境の状況を同時に取得できるため,人と人，人と物とのインタラクションの理解などに有効である．特に，人物追跡技術は人物の動線や行動パターンを取得できるため，不審者の監視だけでなく，居住者の状況を察知することが可能となる．また，3次元空間上で人物を追跡することは，画像上で人物同士が重なり合っていても,精度よく人物を分離することができるため,個々の人物の行動パターンを容易に取得することが可能となる．

そこで本報告では，高精度に人物追跡を行うための人物検出手法について検討し,複数の3次元センサを協調させた人物検出手法について述べ,その有効性を評価する．

＊(財)ソフトピアジャパン
** 岐阜大学 工学部

２．人物検出手法の検討

２．１　多視点カメラを用いた人物検出

多視点カメラを用いた人物追跡の研究として，観測情報をカルマンフィルタにより統合して人物追跡を効率的に行う研究が行われている[7]．時刻間での人物の対応をとるための特徴には，人物シルエットの中央点を用い，人物追跡には予測される人物位置にガウス分布的な存在確率を用いている．2名程度ではあるが良好な人物追跡を実現している．しかし，シルエット画像において人物のシルエットを分離できない場合には検出が困難になる．

また，岐阜県地域結集型共同研究事業[10]（以下，結集事業）では，3次元形状復元に用いられる視体積交差法に人物の存在確率マップを用いることにより人物追跡を行った[11]．複数の異なる視点から得られたシルエット画像を空間に投票し，和となる部分に存在確率マップを適用することで，投票によって生じたノイズボクセルの除去と人物同士の分離問題を解決している．それにより，人物の床面上の位置だけでなく，投票空間中の人物ボクセルから身体各部位の像を検出することができた．しかし，人物追跡の成功率は，人物の空間侵入時における存在確率マップの当てはめに大きく依存するため，空間への人物の侵入に対し，存在確率マップの当てはめを容易にする拘束条件を与えることで高い追跡精度を実現している．

２．２　ステレオカメラを用いた人物検出

ステレオカメラを用いた研究として，複数の人物を精度よく分離し，追跡を行っている研究がある[8]．3次元計測した特徴点群を3次元空間上でクラスタリングすることで人物検知を行い，位置情報に基づいて追跡を行っている．また，同一空間を取り囲むように複数のステレオカメラを配置して人物の行動理解を行う研究がある[9]．個々に得られた距離情報を3次元空間上で統合した後，床面に水平な複数段階の平面に写像することで人物を検出し，姿勢の認識を行っている．しかし，これらは，カメラ画角の制限により，観察対象空間とカメラ設置位置との間に一定の距離を置かなければならない．つまり，観察対象空間を大きくするほど，カメラを対象空間から離して設置する必要がある．

２．３　多視点ステレオカメラを用いた人物検出

結集事業で開発した全方向ステレオシステム[12]（以下，SOS）は，画角の制限がなく，設置位置を考慮する必要がないため，センサを対象空間に自由に設置することで，距離情報を用いた人物追跡を行うことが可能である[16]．しかし，ステレオカメラを用いた研究と同様に，観察対象物体とシステムとの間の距離が大きくなるに従ってステレオ精度が低下する．

そこで，室内空間における人物追跡を実現するために，観測対象空間を取り囲むように複数のSOSを設置することにより，ステレオ計測による距離情報と視体積交差による空間情報を用いた人物検出手法を提案する．具体的には，ステレオ計測で得られた距離情報に信頼度を付加することでステレオ精度の低下による計測誤差を低減し，視体積交差法により得られた人物候補領域に信頼度付き距離情報を用いることでノイズボクセルを除去する．これにより，存在確率マップの適用をスムーズにし，視体積交差法を用いた人物検出手法における拘束条件を緩和した人物検出が可能になると考えられる．



図1　ASTRO-Sensor**シリーズの概観**
（左から順に Venus，Mercury，Saturn，Jupiter**）**

３．プロトタイプシステムの構築

３．１　埋め込み型SOSの開発

結集事業では，センサを中心とした全方向のカラー画像と距離画像を完全に死角無く，高い解像度でリアルタイムに取得することが可能なSOS[12]を提案してきた．これに加え，移動体ビジョンを指向し，小型軽量化を図った小型全方向ステレオシステム（miniSOS）[13]，及びサーベイランスシステム等の用途を指向し，システムサイズを小型化しながらも10cmのステレオベースラインを確保したモデル[14]，さらに筒状のカメラブロックを持つ1/4球状のシェルを結合する構造により，レンズを保護しつつ剛性を増した高剛性モデル[15]を開発し，初代モデルをJupiter，移動体ビジョン指向型をVenus，サーベイランスシステム指向型をSaturn，高剛性モデルをMercuryと名付け，ASTRO-Sensorシリーズとして用途に合わせたシリーズ展開を図ってきた（図1）．しかし，家庭のような生活空間で固定して使用する際には，全方向を死角なくセンシングできる性能ゆえに，配置方法を考慮する必要がある．

そこで，従来モデルの視野範囲が全球をカバーしているのに対し，その1/8の視野をカバーする構成とすることで，天井の隅に埋め込むような形で固定できる1/8球型モデルを開発した．図2に1/8球型SOSの外観，表1に緒元を示す．

本センサは，3つの3眼ステレオユニットから構成され，1/8球の視野を持つように設計されている．ステレオユニ

表1　ASTRO-Sensor**シリーズと**1/8-SOS**の緒元**

モデル	Jupiter	Saturn	Venus	Mercury	1/8球型
基本形状	正20面体	正12面体		球状	−
撮像素子	1/3’カラーCMOS		1/4’カラーCMOS		
素子の解像度	640(H)×480(V) pixel				
焦点距離	2.9mm	2.5mm	1.9mm		3.3mm
画角	96.6°(H)×71.9°(V)	115.5°(H)×83.8°(V)	101°(H)×76°(V)		59.5°(H)×45.4°(V)
ベースライン	90mm	100mm	50mm		
フレームレート	15fps				
カメラヘッド直径	27cm	21cm	11.6cm	12cm	−
重量	4.5Kg	1.85Kg	615g	846g	−

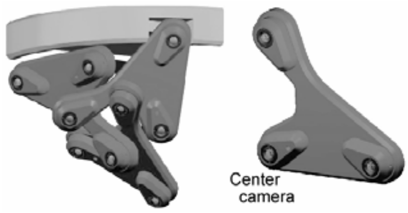


図2　1/8**球型**SOS**（左）とステレオユニット（右）の外観**

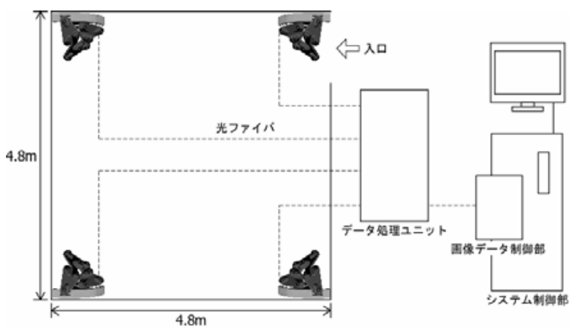


図3　**試作したプロトタイプシステムの構成**

ット上の3つのカメラのうち,センタカメラはカラー画像を取得し，他の2つのカメラはモノクロ画像を取得する．ステレオユニット上の各カメラは同一平面上にあり，それぞれの光軸は互いに平行である．また，センタカメラからステレオ対を成す2つのカメラまでのベースラインは直交している．これにより，各ステレオ対がそれぞれ水平垂直のエピポーラ拘束を満たし，対応点探索の処理コストを低減することが可能である．

また，1/8球視野を3つのステレオユニットでカバーすることで，正12面体形状を持つVenusやSaturnの倍の解像度が得られる．実際には，VenusやSaturnは各ステレオユニット間での重なり領域が1/8球型モデルよりも大きいため単純に比較することはできないが，角度分解能が向上し，ベースラインがVenusと等しいにもかかわらず，Venusに比べ高いステレオ精度が得られる．これにより，設置位置からの全方向性を残しながらも違和感の少ない配置と，小型ながらも高いステレオ精度の確保が可能となる．

３．２　システムの構成

図3に人物検出のために構築したプロトタイプシステムの構成を示す．本システムでは，空間の1辺が480cmとなるようにパーティションで区切り,その天井の4隅それぞれにセンサを設置した．天井までの高さは270cmである．

各センサで取得される3枚のカラー画像と6枚のモノクロ画像は，光変換機能を有するデータ処理ユニットに転送される.データ処理ユニットは4つのセンサから転送された36枚の画像データを統合し，光ケーブルにより1.2Gbps×2の光信号として画像データ制御部へ出力する.画像データ制御部は高速シリアル信号として送られてきた画像データを復調し，システム制御部のメモリへ高速に転送する．システム制御部では，ステレオユニット毎にキャリブレーションデータを管理し，ステレオビジョンソフトウェアライブラリ[18]を用いて，補正画像，距離画像を生成し表示する．なお, センサ間は1つの基準座標系を用いて回転，並進パラメータを求め，センサ上のステレオユニット間は高い精度で組み付け加工された配置パラメータを用いてキャリブレーションを行っている．個々のステレオユニットに関しても，それぞれユニット単位でキャリブレーションを行っており，レンズ歪み及びカメラ間のアライメントずれの影響をソフトウェアによって除去している．

４．複数人物の検出

室内で人物を追跡するために，環境に埋め込んだ複数の1/8球型SOSを用いて人物を検出する．以下に，処理の流れを示す．

1) あらかじめ生成した背景モデルと入力画像とを比較し, 差分を求めることでシルエット画像を生成する．
2) 得られたシルエット画像に基づいてボクセル空間に投票を行い，人物候補領域を検出する．
3) 距離画像から得られた3次元情報に信頼度を付加し,信頼度に基づいて距離情報をボクセル空間へ写像することにより，ノイズ領域を除去し，人物領域のみを抽出する．

ここでは，それぞれの処理について詳細を述べる．

４．１　シルエット画像の生成

シルエット画像は，各ステレオユニットのセンタカメラ画像に対し, Radial Reach Correlation（RRC）[17]により，それぞれ前景領域を抽出するとともに，距離画像に対しても背景差分を行い, 2枚のシルエット画像の論理積を求



図4　生成したシルエット画像の例

めることにより生成する．

単純背景差分を用いる場合，出現物体の明度分布と背景の明度が近い領域において未検出が生じるだけでなく，影などの明度変化による過検出の影響も大きい．一方，RRCは濃淡情報をベースに，ピクセル単位の分解能で局所的なテクスチャを評価し，変化領域の明度分布に依存せず，しかも影などの明度変化の影響を低減したロバストな検出が可能である．また，距離画像における背景差分では，距離が近くなった画素についてのみ検出した．これは，照明等の影響による距離の揺らぎで生じた誤検出を低減するためである．

図4にシルエット画像の生成例を示す．図4(c)はRRCのみで背景差分を行った結果であり，図4(d)は距離画像のみで背景差分を行った結果である．図4(e)は，2つの差分画像の論理積により求められたシルエット画像に対し，膨張・収縮処理を加えたものである．

４．２　視体積交差による投票

得られたシルエット画像とキャリブレーションデータに基づいて，視体積交差により投票を行うことで，ボクセル空間上で人物候補領域の検出が可能である[11]．

視体積交差法では，カメラ位置とシルエット画像の各画素とを結ぶ直線上でボクセル投票を行う．通常，視体積交差法による形状復元では，精度を高めることが重要であるため，高い空間分解能をもつボクセル空間を用いる必要がある．しかし本稿では，人物検出を目的として視体積交差法を用いているため，形状の精度はあまり重要ではない．そのため，ボクセル空間の分解能を低く設

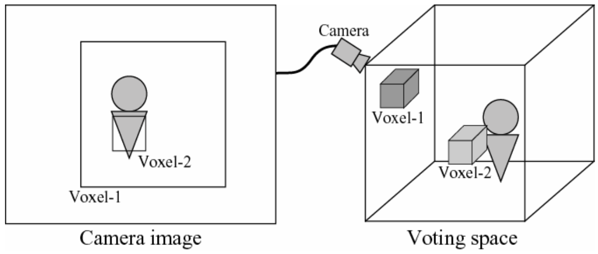


図5　投票空間とカメラ画像との関係

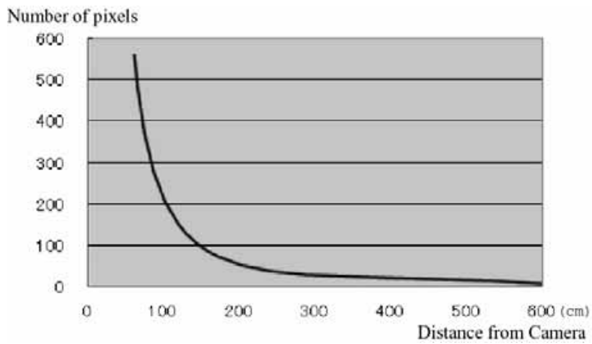


図6　カメラからの距離と画素数との関係

定することが可能である．このような場合，ボクセル空間の分解能に対して，カメラ画像の解像度が高くなるために，カメラに近い位置のボクセルでは，多重に投票されるといった問題が生じる．そのため，投票時には多重投票の回避を行うなどの判定処理が必要となる．図5に投票空間と画像の関係を模式的に示す．

各ボクセルに対応する画像中の領域のサイズは，カメラからボクセルまでの距離によって大きく異なる．つまり，カメラに近い位置のボクセルに対応する範囲は大きく，カメラから遠い位置のボクセルに対応する範囲は小さい．そこで，各ボクセルに対応する画像領域内のシルエットの割合により，ボクセル投票を行うか否かを決定する．位置(x, y, z)に対するあるカメラC からの投票度数$V_C(x, y, z)$は，画素F_Cの平均値

$$V_C(x, y, z)_ave = \frac{1}{K}\sum^{K} F_C(i, j) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$s.t. \quad F_C(i, j) \in T_V(x, y, z)$$

より，

$$V_C(x, y, z) = \begin{cases} 1 & \text{if } V_C(x, y, z)_ave \geq th_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \cdots\cdots (2)$$

として求まる．ここで$T_V(x, y, z)$は，ボクセル$V(x, y, z)$に対応する画像領域を示し，Kは画素数である．図6にカメラからの距離と画素数の関係（ボクセル空間解像度5.0cm）を示す．カメラに近いほど画素数は極端に増すが，画像領域の大きさは異なっても，空間分解能は一定であることから，閾値$th1$は対象の大きさによって一意に決定

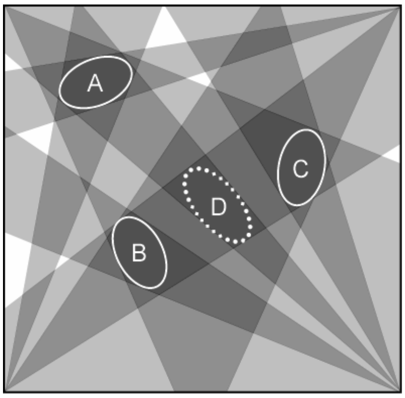


図7　視体積交差による投票の例

できる．また，人物検出を目的とした場合，空間分解能が人物に対して十分小さければ，th_1は高く設定することができる．なお，画像解像度をカメラから最も遠い位置での投票空間の感度と対応させることで，無投票ボクセルの発生を回避することができる．

ボクセルVへの投票度数は，N台のカメラから，

$$V(x,y,z)=\frac{100}{N}\sum_{C=1}^{N}V_C(x,y,z)\geq th_2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

として求められ，閾値th_2によって人物候補ボクセルとして判断される．閾値th_2はカメラ台数より決定できる．

４．３　人物領域の抽出

視体積交差よる投票からは，人物領域だけでなく，人物同士のオクルージョンによるノイズ領域も人物候補領域として取得される．図7に各センサからの投票例を示す．図中実線の楕円領域（A〜C）を実際の人物領域とすると，グレーの領域が各シルエット画像からの投影結果として投票される．ここで，グレー領域の濃淡は投票度数を示しており，濃くなるほど投票度数が高い．投票度数の高い領域を人物候補領域として求めると，Dの領域のように人物同士のオクルージョンにより投票度数が高くなる領域が存在する．これを解決する方法として，人物が空間に侵入した際に存在確率分布を当てはめ，人物を追跡することによりノイズ領域を除去する方法がある[11]．しかし，この方法では，最初のフレームで検出を失敗した場合，その後の人物検出に大きな影響を及ぼす．そこで本報告では，距離画像から得られた3次元情報をボクセル空間へ写像することにより，ノイズ領域を除去し，人物領域のみを抽出する方法を試みる．

センサからはカラー情報と共に距離情報も同時に取得することができるため，各センサより得られた3次元座標を基準座標系に変換し，視体積交差で使用したボクセル空間に写像する．しかしながら，ステレオカメラで得られた距離画像は，カメラと対象との距離が遠くなればなるほど精度が低下する．また，本センサは得られた画像中のテクスチャのみに依存するパッシブステレオ方式を採用しているため，測定に有効なテクスチャの存在しない領域に対しては情報が欠落し，安定性の面でやや問題がある．そこで，本報告では，得られた3次元座標をボクセル空間に写像する際には，3次元座標の各カメラからの距離$D_C(x,y,z)$に応じた

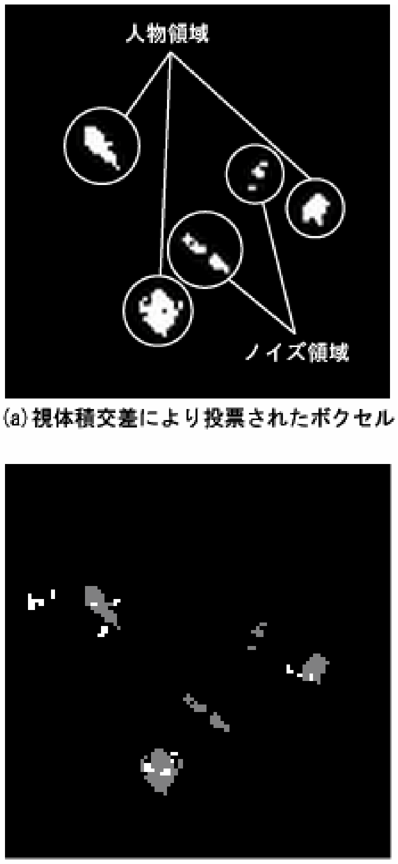
$$E_C=\frac{M}{D_C(x,y,z)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

より与えられる信頼度E_Cを求め，

$$W(x,y,z)=\sum_{C=1}^{N}E_C\geq th3 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

により，N台のカメラから得られる信頼度の総和をボクセル空間と同一の空間分解能を持つ3次元座標空間$W(x,y,z)$に写像した．ここで，Mは定数である．なお，写像する3次元座標は，シルエット画像で得られた画素を用いる場合，ステレオ処理におけるバウンダリオーバーリーチの影響により，人物領域だけでなく背景領域も含まれる場合があるため，シルエット画像を収縮した画像の画素を用いた．

最終的に，人物領域は$W(x,y,z)$を含む人物候補ボクセル群として求めることができる．図8に視体積交差法により投票されたボクセルと，それに信頼度を付加した3次元座標をボクセル空間に写像した結果を示す．図はボクセル空間を上から地平面に透視した結果であり，図8(b)の



(a) 視体積交差により投票されたボクセル

(b) 人物の3次元座標を写像したボクセル

図8　人物領域の検出例

白色の領域が写像された3次元座標である．人物領域に3次元座標が正しく写像され，ノイズ領域を除去することが可能であることを示している．

5．まとめ

全方向ステレオシステムの特性を活かしながら，環境に埋め込むことができる1/8球視野のステレオセンサを開発し，それを複数利用して実現する人物検出手法について述べた．本センサは天井の隅からの全ての方向のカラー画像と距離画像を死角無くリアルタイムに供給することが可能で，全球型の同一ベースラインを持つモデルよりも高い空間分解能を持つ．また，本センサを複数利用することにより，視体積交差法とステレオ法とを利用したハイブッリッドな人物検出が可能であることを示した．その結果，簡単な処理でノイズ領域を除去することが可能となった．

構築したプロトタイプシステムでは,3名の人物を対象にノイズ領域の除去と人物領域の抽出を行ったが，今後はさらに多くの人物に対して実験を行う予定である．また，リアルタイムでの人物追跡を目標とし，アルゴリズムの高速化を検討すると共に，追跡情報を利用した生活空間でのアプリケーションを開発していく予定である．

謝 辞

本研究の遂行にあたり，1/8球型全方向ステレオシステムを貸与して頂いた(財)ソフトピアジャパンIT研究センターの丹羽義典センター長をはじめ，関係者の皆様に感謝します．また，有益な助言を頂いた早稲田大学WABOT-HOUSE研究所の冨永将史氏に感謝します．

文 献

[1] Aware Home, http://www.awarehome.gatech.edu/
[2] Easy Living, http://research.microsoft.com/easyliving/
[3] Smart Rooms, http://vismod.media.mit.edu/vismod/demos/smartroom/
[4] ユビキタスホーム, http://www2.nict.go.jp/jt/a135/research/ubiquitous_home.html
[5] 人を見守るデジタルヒューマン, http://www.dh.aist.go.jp/research_new/enabling/index.php.ja
[6] T. Mori, H. Noguchi, A. Takada, T. Sato, “*Sensing Room: Distributed Sensor Environment for Measurement of Human Daily Behavior*,” First International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS2004), pp.40-43, 2004.
[7] 森大樹, 内海章, 大谷淳, 谷内田正彦, 中津良平, “ 非同期多視点画像による人物追跡システムの構築 ”, 信学論(D-II)，Vol.J84-D-II，No.1，pp.102-110，2001.
[8] 池谷崇，海上尚子，諏訪正樹，来海雅俊, “ ステレオビジョンセンサを用いた人物検知 ”, 第10回画像センシングシンポジウム(SSII04)講演論文集，pp.231-234, 2004.
[9] 依田育士，坂上勝彦, “ ユビキタスステレオビジョンによる実時間実環境ヒューマンセンシング ”，第9回画像センシングシンポジウム(SSII03)講演論文集，pp.397-402，2003.
[10] 岐阜県地域結集型共同研究事業, http://www.softopia.or.jp/rd/index.html
[11] 冨永将史，本郷仁志，輿水大和，丹羽義典，山本和彦, “ 人物行動把握のための複数人物追跡システムの構築 ”，動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2004)，pp.79-84，2004.
[12] 山本和彦，棚橋英樹，桑島茂純，丹羽義典, “ 実環境センシングのための全方向ステレオシステム(SOS) ”, 電学論，Vol.121-C，No.5，pp.876-881，2001.
[13] 佐藤雄隆, 山本和彦, 桑島茂純, 棚橋英樹, 王彩華, 丹羽義典, “ 移動体ビジョンを指向した小型全方向ステレオシステム(miniSOS)の開発 ”, 第9回画像センシングシンポジウム(SSII03)講演論文集, pp.311-316, 2003.
[14] 佐藤雄隆, 山本和彦, 桑島茂純, 棚橋英樹, 王彩華, 丹羽義典, “ ASTRO-Sensorシリーズの開発とサーベイランスシステムへの応用に関する検討 ”, ビジョン技術の実利用ワークショップ(ViEW2003)講演論文集，pp.166-171，2003.
[15] 桑島茂純, 松山方大, “ 全方向ステレオシステムSOSの設計とその構造 ”, ビジョン技術の実利用ワークショップ(ViEW2005)講演論文集，pp.206-209，2005.
[16] 棚橋英樹，佐藤雄隆，渡辺博己，王彩華，丹羽義典, 山本和彦, “ 全方向ステレオシステム(SOS)を用いた環境変化の抽出 ”, 第14回外観検査の自動化ワークショップ(VIEW2002)講演論文集，pp.172-177，2002.
[17] 佐藤雄隆，金子俊一，丹羽義典，山本和彦, “ Radial Reach Filter (RRF)によるロバストな物体検出 ”，信学論(D-II)，Vol.J86-D-II，No.5，pp.616-624，2003.
[18] Point Gray Research Inc., “User’s Guide and Command Reference - TRICLOPS Stereo Vision Software Development Kit (SDK).”

インターネット上のマップ情報を用いた災害状況提示に関する研究

－防災観測機システムの開発－

棚橋　英樹　　三橋　清通*　　大野　尚則　　山田　俊郎

Research on Display Method of Disaster Status using Digital Map via Internet

Development of the Small UAV for the Observation Uses

Hideki TANAHASHI　Kiyomichi MITSUHASHI*　Naonori OHNO　Toshio YAMADA

あらまし　地震災害など大規模災害時には，できるだけ広範囲の被災状況を迅速に把握する必要がある．近年，災害時のリアルタイムの状況を無人で取得する防災観測機の開発が盛んになっているが，これらから得られる映像情報は，航空写真や衛星画像に比べて局所的な画像であり，画像のみから災害場所の特定や広域な状況把握が困難な場合がある．また，災害地への救援活動計画を立てるためには，複数の機関で災害状況を共有して戦略的に行うことが大変重要である．そのため，本研究では，岐阜県工業会が開発した防災観測機から得られるリアルタイムの画像情報をインターネット上で公開されている地図情報上にマッピングして表示し，災害場所の特定及び広域の情報を取得できるシステムについて検討したので報告する．

キーワード　防災観測機，画像情報，地図情報，情報統合，救援計画

１．はじめに

地震災害など大規模災害時には，広範囲の被災状況を迅速に把握することが求められている．災害直後の対策を戦略的に行うためには，災害の種類，規模や範囲をできるだけ早く収集し，それにより救援経路や緊急対応を要する場所を特定し，救援活動を行う必要がある[1]．広域の災害状況を視覚的に把握するためには，衛星写真や航空写真が有効であるが，データを取得するための準備や衛星等は周期的軌道を持つため，データの取得に時間を要する．また，天候等の影響を受けやすく，災害時に迅速にデータが得られるとは限らない．

こうした問題に対応するため，災害発生直後に現場に投入し被災状況をその場で把握することを目的とした，小型・軽量の無人観測機が幾つか開発されている [2,3]．(社)岐阜県工業会では，山林火災，斜面岩盤崩落，火山噴火等の災害時の状況を無人で上空から監視する防災観測機の開発研究を，平成15年度から行っている[4-6]．本観測機は，小型カメラを搭載し，被災地の動画や静止画等の情報を取得できる．そのため，迅速かつ容易に被災地の状況を得ることが可能である．しかし，搭載可能なセンサの制約や飛行高度の制約により，衛星写真や航空写真に比べて一度に得られる画像の範囲は狭いため，取得された画像からの位置の特定や，画像間の位置関係，広域的な状況の把握は困難である．

本研究では，この防災観測機から得られた画像を用いて災害箇所の特定や広域な状況把握をするため手法について検討する．

取得された画像の位置関係の把握を容易にするための一つの方法として，地図情報に重ねて表示する方法がある．近年，インターネット上で使用できる地図情報サイトが幾つか公開されており,これを用いることで災害箇所の特定や広域な状況把握が容易となる．また，インターネットが繋がる環境では，どこでも情報の共有が可能となり，災害対策本部や複数の機関が共同で救援活動計画を立てることが可能となる．(社)岐阜県工業会が開発した防災観測機から得られた画像情報を地図にマッピングすることにより，災害場所の特定と広域情報の取得を行う情報提示技術の検討を行ったので報告する．

２．防災観測機

本研究で使用した防災観測機の写真と緒元を図1と表1に示す[4]．本観測機は，岐阜県工業会が平成15年度から3年計画で消防庁の消防防災科学技術研究推進制度の補助を受けて開発を行っているものである．

* (社)岐阜県工業会



図1　防災観測機（4号機）

表1　防災観測機（4号機）諸元

全長(m)	1.23
全高(m)	0.50
全備重量(kg)	約4.5
動力	電動モータ
搭載機材	GPS，ビデオカメラ



図2　取得画像例

本観測機の先端には，動画及び静止画が撮影できるカメラ（三洋電機(株)DMX-C4）が搭載されており，前下方の映像取得が可能である．図2に防災観測機から撮影された画像例を示す．この動画情報は，搭載されたビデオ伝送装置により，飛行中のリアルタイム映像を地上で受信し，見ることが可能である．また，自動操縦装置（AP-50）も搭載されており，飛行経路を設定することで，自律飛行が可能である．さらに，自動操縦装置で計測された飛行時の機体位置（緯度，経度，高度）や速度，針路方位の情報[7]も無線伝送装置を介して地上でリアルタイムに取得できる．

３．実装

３．１　地図情報の選定

インターネット上の無料で閲覧できる地図情報サイトは幾つかあるが，ユーザが自由に地図情報を用いて地図上に情報を付加できるサイトは少ない．

本研究では，データの汎用性を高めるため，Googleローカル[9] の地図情報を用いた．Googleローカルは，米Google社が提供する地図情報で，全世界の地図をインターネット上で使用できる．また，無料のGoogle Maps API[10]を用いることで，ユーザのWebサイトにGoogle Mapsから取得した地図情報を表示したり，マーカを使って地図上に印を付けることやポップアップウィンドウに自由にコンテンツや情報を加えたりすることができる．このAPIを用いて，店舗検索サイトや不動産検索サイト，案内図作成サイトなど地図情報を用いた様々なサービスが開発されている．また，誰もが簡単に高機能な地図を作成できるツールも幾つか提供されている．本研究では，Google Maps APIとKsGMapを用いて，地図上に防災観測機からの画像データを表示した．KsGMapは，Google Maps API を用いた地図を簡単に設置することができる無料の汎用スクリプトであり，検索，ソート機能やカテゴリ機能など機能が豊富で，Google Maps APIで用いられているプログラム言語‘JavaScript”を知らなくとも，XML形式のデータを生成することで簡単に地図情報を用いたサイトを生成することができる．

３．２　画面レイアウト

防災観測機からは，リアルタイムで映像情報と，緯度，経度，高度などの機体位置情報や速度情報が取得できる．これらの情報を同時に地図上に表示することは困難である．そのため，地図上には，機体の位置情報のみをマーカで表示し，そのマーカをクリックすることで，その位置における防災観測機の高度（m），空中速度（km/h），その地点で取得された静止画を表示した．

図3にWebブラウザで表示される画面レイアウトを示す．また，図4に図3の中央部の部分拡大画像を示す．

地図表示ウィンドウには，Google Maps APIにより取得された地図情報と飛行データが表示される．飛行データはマーカ(図4下部のA、B、C等)として地図情報上に表示される．それぞれの飛行データは，予め決められたカテゴリで分類されており，カテゴリウィンドウで選択されたカテゴリに対応する飛行データが地図上及びカテゴリウィンドウのアイテムとして一覧表示されている．カテゴリウィンドウ内のアイテムをクリックするか，地図上



図3　画面レイアウト例



図4　情報ウィンドウ表示例

のマーカをクリックすることで，その地点での詳細な情報が情報ウィンドウ（図４）として表示される．情報ウィンドウには，その地点の任意の名前と，飛行時刻，高度，スピード及びその地点から得られた静止画が表示される．また，情報ウィンドウ内のPlayボタンを押すことにより，その時刻に対応した動画がビデオウィンドウで再生される．また，地図の解像度は，地図ウィンドウ内の左に表示されるスライダーにより詳細な地図から広域の地図に変更することが可能である．

防災観測機から得られる映像情報，機体位置情報，速度情報を一旦ファイルに保存し，その情報からオフラインでXMLファイルに展開し，その後，作成したXMLファイルをWebサーバにアップロードした．

４．表示例

実際に防災観測機から得られた位置情報をマップ上に表示した．使用したデータは，2005年5月16日に，岐阜県関市の関テクノハイランドにおいて試験飛行した約6分の映像データと自動操縦装置（AP-50）から取得された1秒ごとの機体の位置情報に関する飛行データである．この飛行データは映像情報とは完全に同期は取れていないため，映像データと飛行データの同期を視認により行った．また，静止画情報として，映像データから1秒ごとの

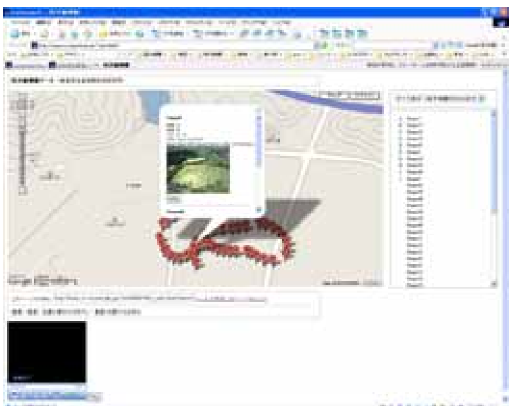
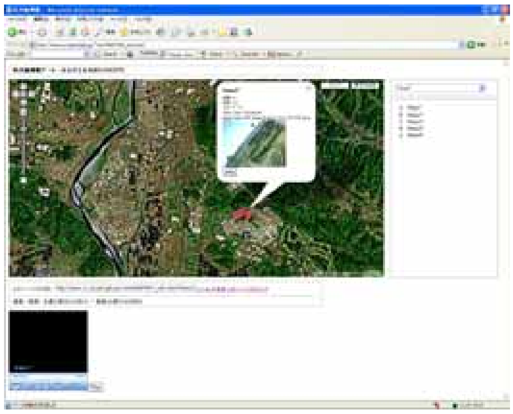


図5　表示例



(a)　衛星画像上でのマッピング



(b)　(a)部分拡大画像

図6　衛星画像上でのマッピング

画像を切り出し，その時刻の静止画データとした．

図5に，Webブラウザで表示した例を示す．地図上に表示された防災観測機の時系列飛行軌跡から位置と機体方向が特定でき，確認したい地点の軌跡をクリックするだけでその地点からの画像を容易に確認できる．また，情報ウィンドウ内のPlayボタンを押すことで，その位置での前後数秒の映像が表示できる．

これにより，災害地の映像の位置の特定や，その周辺の状況の把握が容易となる．また，解像度の問題もあるが，Google Maps上では，衛星写真を背景として表示することも可能であり，情報ウィンドウに表示された画像と，衛星画像を比較することにより，災害前と災害後の状況比較が容易となる（図5）．これらの情報は，インターネット上でどこでも見ることが可能であり，遠隔にある災害対策本部等と情報を共有しながら，今後の救援経路や緊急対応を要する場所を特定など，救援活動を行うための計画を立てることが可能である．

５．まとめ

本研究では，防災観測機から得られた航空画像情報を地図情報にマッピングすることにより，災害場所の特定

と広域情報の取得を行う情報提示技術の検討を行った．実際に岐阜県工業会が開発した防災観測機により得られた映像データや飛行データをインターネット上での地図と統合して表示した．これにより，災害場所の特定や広域の状況の把握が容易となり，インターネットが繋がる環境では，どこでも情報の共有が可能となり，災害対策本部や複数の機関が共同で救援活動計画を立てることが可能となる．

今回は，防災観測機から映像データと飛行データの同期が取れていないため，必ずしも正確な位置を特定することはできない．また，防災観測機から得られる機体情報には，位置の情報しか得ることができていないため，姿勢の情報を加味した映像提示や映像中心の正確の場所の特定ができていない．これらに関しては，今後の防災観測機の開発に期待する．また，防災観測機は，同一箇所の画像を短時間に複数回取得することも可能であるため，これらの情報を統合して広範囲の画像として表示することや動画情報からより広範囲の画像を生成し，地図情報と合わせて表示することが今後の課題である．

文　献

[1] 向山　栄，“ 地震災害発生直後に期待する災害情報の特性とIKONOS衛星画像の利用 ”，先端測量技術，No.89・90，pp.108-113，2006.

[2] http://www.yamaha-motor.co.jp/product/sky/index.html

[3] http://www.atrim.co.jp/

[4] 西脇　英彦，熊倉　弘，三橋　清通，橋本　豊雄，川辺　健夫，“ 消防・防災無人観測機の風洞試験と飛行試験 ”，日本航空宇宙学会北部支部2005年講演会，2005.

[5] 西脇　英彦，三橋　清通，“ 小型観測用無人飛行機の設計と開発 ”，日本航空宇宙学会学会誌，Vol.55，No.626，2006.

[6] 三橋　清通，“ 平成１６年度消防防災科学技術研究推進制度　研究報告書 ”，http://www.fdma.go.jp/html/seido/pdf/h16_houkoku.pdf ，2005.

[7] AutoPilot GCS Communication Protocol Manual

[8] http://www.gis.pref.gifu.jp/index.html

[9] http://local.google.co.jp/

[10] http://www.google.com/apis/maps/

[11] http://www.ksgmap.jp/index.html

段ボール製品の強度解析技術に関する研究（第2報）
－IT/MT分野におけるシミュレーション技術の適用に関する研究－

川島　義隆　　多賀　郁生　　伊田　徹士*　　原田　匡人*
梅津　康義*　　松井　和己**　　手塚　明***

Structural analysis for corrugated fiberboard products(Ⅱ)
-Research on the Application of Numerical Simulation in IT/MT field-

Yoshitaka KAWASHIMA　Ikuo TAGA　Tetsuji IDA*　Masahito HARADA*
Yasuyoshi UMEZU*　Kazumi MATSUI**　Akira TEZUKA***

あらまし　従来より，段ボール箱の設計において，段ボール箱の最大圧縮強さを推定する各種の算定式が利用されている．一方，包装設計現場では，圧縮強度値のみならず，変形や強度解析等に対するニーズも強い．段ボール箱圧縮強度の要因の中で，その重要な項目の１つとして段ボールシートの強度特性が挙げられる．そのため，段ボール箱の強度解析を行うためには，段ボールシートの力学的特性や材料定数の測定は重要といえる．本報告では，段ボール原紙及びシートの強度試験により材料定数を求め，段ボールシートの曲げ強さ及び箱の圧縮強さの静的解析を行ったので，これらの結果について報告する．
キーワード　段ボール，強度解析，箱圧縮強さ

１．緒言

工業製品等の輸送や保管に使われる包装材料には，段ボール箱が広く使用されている．段ボール箱の設計において，その重要な項目の１つとして，箱圧縮強さが挙げられる[1]．そのため，従来から段ボール箱の最大圧縮強さを推定するケリカット式などの算定式[1]が提案されている．一方，包装設計現場では，最大圧縮強度値のみならず，段ボール製品の変形及び強度解析等に対するニーズも強い．そのため，近年では，有限要素法を用いた段ボールの強度特性解析[2~3]などが行われている．

前報[4]では，段ボールシートを一様な平板とみなし，シートの圧縮及び曲げ強度試験より，段ボールシートの材料定数を求め，箱圧縮強度特性解析の基礎的検討を行った．

本報告では，さらに，原紙及びシートの強度試験によるせん断弾性係数の算定や段ボール箱の折り部のモデル化を行うことにより，段ボールシートの曲げ強度特性及び箱圧縮の強度特性の静的解析を行った．2 章では，段ボールシートの圧縮及び曲げ強さ試験より，段ボール原紙及びシートの材料定数を求め，3 章では，それらを用い，段ボールシートの曲げ強度特性，箱のコーナー部の曲げ強度特性及び箱圧縮特性の静的解析を行ったので，これらの結果について報告する．

*　株式会社日本総合研究所
**　横浜国立大学
***　独立行政法人　産業技術総合研究所

２．段ボール原紙及びシートの強度特性

２．１　段ボール原紙の圧縮特性

圧縮強さ及び曲げ強さ試験に用いる段ボールシート及び箱は，表 1 に示す段ボール原紙を用いた．原紙は表ライナー（公称坪量 170 g/m^2），中芯（公称坪量 120 g/m^2）及び裏ライナー（公称坪量 170 g/m^2）の 3 種類である．

表1　段ボール原紙の坪量，紙厚

原紙	公称坪量 (g/m^2)	測定値	
		坪量 (g/m^2)	厚さ (mm)
表ライナー	170	171.6	0.205
中芯	120	121.6	0.211
裏ライナー	170	168.6	0.206

そして，これらの 3 種類の原紙に対して，段ボール原紙の圧縮強さ試験[5]（リングクラッシュ試験，JIS P 8126）を

行った．試験片は長さ 152.4mm，幅 12.7mm，圧縮速度は 10mm/min とし，標準状態（JIS Z 8703，温度 23±1℃，湿度 50±5%）で行った．図 1 に表ライナーのひずみ－応力特性を示す．

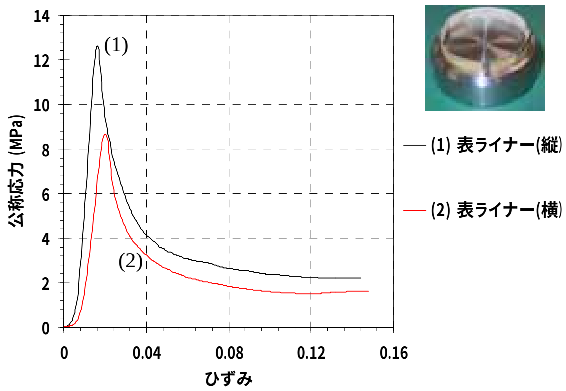


図1　原紙の圧縮強さ試験

2．2　段ボール原紙の引張特性

2.1節と同様，標準状態において，3種類の原紙に対して，段ボール原紙の引張強さ試験[5]（JIS P 8113）を行った．試験片は長さ 250mm，幅 15mm，つかみ具間隔 180mm とし，引張速度は 10mm/min とした．図 2 に表ライナーのひずみ－応力特性を示す．

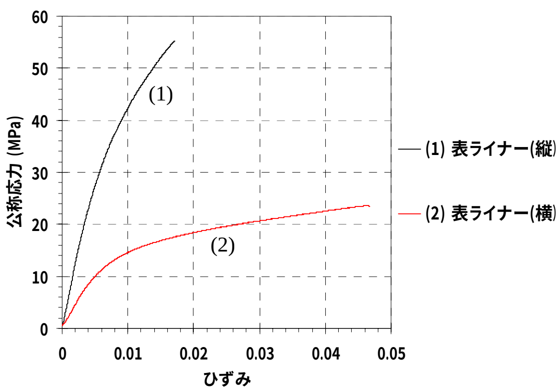


図2　原紙の引張強さ試験

2．3　段ボール原紙の材料定数

段ボールシートの曲げ強度特性の解析を行うため，2.1～2.2 節で行った原紙の圧縮及び引張強さ試験の結果から，3 種類の段ボール原紙の材料定数を求めた．

表2　段ボール原紙の材料定数

原紙	方向	ヤング率(MPa)		せん断弾性係数	
		圧縮	引張	圧縮	引張
表ライナー	縦	1737.1	5728.4	630.5	1510.3
	横	989.6	2051.1		
中芯	縦	1047.5	3042.4	412.1	1007.5
	横	679.4	1506.4		
裏ライナー	縦	1601.6	5503.2	578.4	1562.6
	横	905.4	2182.2		

求めたヤング率を表 2 に示す. 各ヤング率を比較すると，段ボール原紙はその縦方向と横方向ではその強度特性に差異があり，異方性を持っていることがわかる．また，各原紙のせん断弾性係数は，ポアソン比を 0 と仮定し，次に示す Campbell[6]の式を用いた．

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{1+\mu_{xy}}{E_x} + \frac{1+\mu_{yx}}{E_y} \tag{1}$$

ここで，

G_{xy} ：せん断弾性係数

E_x，E_y：原紙の縦及び横方向のヤング率

μ_{xy}，μ_{yx}：原紙のポアソン比

2．4　段ボールシートの圧縮強度特性

段ボールシートの圧縮強度特性を測定するため，段ボールシートの垂直圧縮強さ試験[5]（JIS Z 0403-2，試験片：幅 90mm，高さ 60mm）を行った. 圧縮速度は 10mm/min とし，外装用両面段ボール（A 段，厚み 5.35mm）の試験片に対して，縦方向，横方向及び斜め（45°方向）の 3 方向の圧縮強さ試験を行った．図 3 に変位－荷重特性，表 3 に最大荷重値を示す．

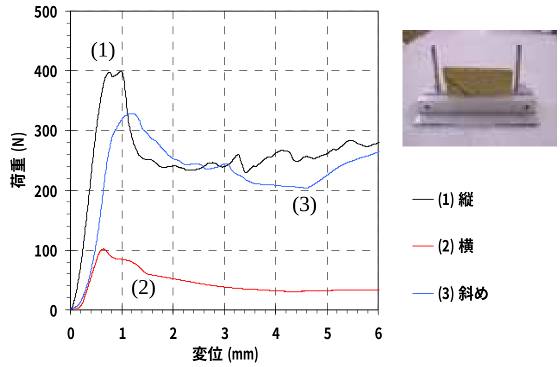


図3　段ボールシートの垂直圧縮強さ試験

2．5　段ボールシートの曲げ強度特性

段ボールシートの曲げ強度特性を測定するため，3 点曲げ強さ試験（試験片：長さ 200mm，幅 50mm，支点間距離 150mm）を行った． 2.4 節と同様に，曲げ方向は縦方向，横方向，斜め 45°方向の 3 種類とする．図 4 に変位－荷重特性，表 3 に最大荷重値を示す．

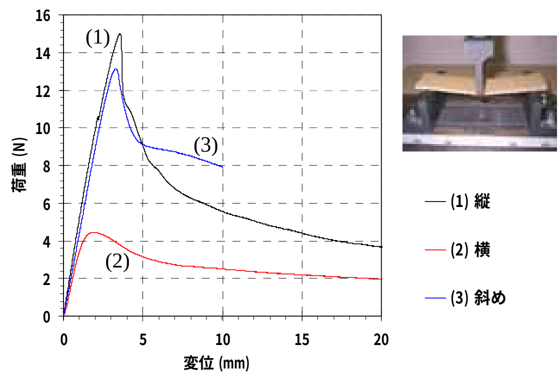


図4　段ボールシートの曲げ強さ試験

２．６　段ボールシートの材料定数

段ボールシート及び箱の有限要素解析を行うにあたり，段ボールシートの材料定数を求める．段ボールシートは多数の段で構成されるが，ここでは，一様な平板とみなす．圧縮及び曲げ強度特性より求めたヤング率をそれぞれ表 3 に示す．

また，せん断弾性係数は，次に示す石川[7]の式を用いる．

$$G_{xy} = E_{45} / \{2(1 + \upsilon_{45})\} \tag{2}$$

ここで，

G_{xy} ：せん断弾性係数
E_{45} ：45°方向のヤング率
υ_{45} ：45°方向のポアソン比

である．

式(2)を用いるためには，試験片の縦方向に対する斜め（45°）方向のヤング率が必要となる．そのため，2.4～2.5節の圧縮強さ試験と曲げ強さ試験において斜め方向の試験を行い，その強度特性から45°方向のヤング率を求めた．そして，ポアソン比を0と仮定し，式(2)及び求めたヤング率より，段ボールシートのせん断弾性係数を求めた．それらを表3に示す．

表3　段ボールシートの強度特性

	方向	最大荷重値(N) 平均	最大荷重値(N) 標準偏差	ヤング率(MPa)	せん断弾性係数(MPa)
圧縮強さ	縦	404.5	46.7	39.7	16.5
	横	104.9	15.5	19.5	
	斜	328.5	23.5	33.0	
曲げ強さ	縦	14.7	0.8	466.5	213.9
	横	4.0	0.4	228.2	
	斜	13.0	0.7	427.8	

３　段ボールシート及び箱の強度特性の解析

３．１　段ボールの有限要素解析

段ボール箱の圧縮強度において，図14(a)に示すように段ボール箱の圧縮後の変形を観察すると，強度要因の重要な要素の一つとして段ボールシートの曲げ強度特性が挙げられる．従って，箱圧縮特性の解析のため，3.2節では段の詳細モデル化によるシートの曲げ強度特性，3.3節では折り部の板厚を考慮した簡易モデル化によるコーナー部の曲げ強度特性，3.4節では箱圧縮特性の有限要素解析について述べる．

３．２　段ボールシートの曲げ強度の解析

段ボールシートは，多数の段で構成され，その１つの段は表ライナー，中芯及び裏ライナーにより構成される．そのため，段ボールシートの強度特性は，原紙の強度特性に大きく影響を受ける．原紙の強度特性は，2.2～2.3節において，測定を行ったが，図1～2，表2より原紙の圧縮と引張特性は大きな差異を持つ．そのため，段ボールシートの曲げ強度特性の解析で使用する材料定数は，表2に示す原紙の圧縮強さ試験から測定した定数と引張強さ試験から測定した定数をそれぞれ用い，その両者の結果を比較する．解析モデルは，図5に示すようにシェル要素により段ボールの段を詳細にモデル化し，片持ち梁としてモデル化を行う．そして，境界条件は片側を固定，他方を強制変位させる．また，原紙の材料は異方性を持つ弾性材料とする．

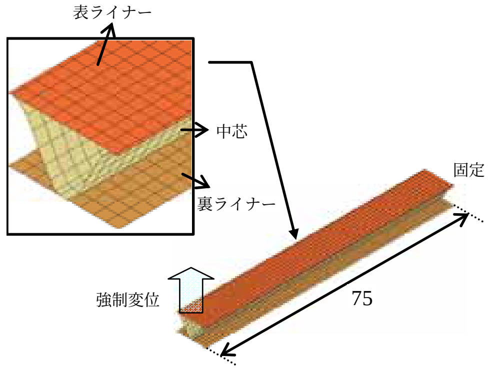


図5　段ボールシートの曲げ解析モデルと境界条件

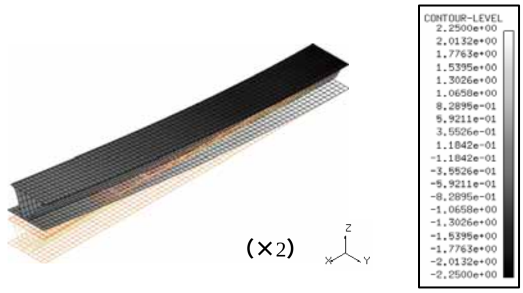


図6　段ボールシートの曲げ強度特性
（変形とその断面力分布，X方向，変位=3.6mm）

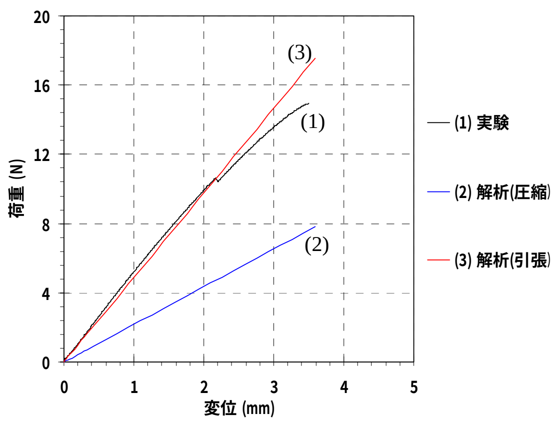


図7　段ボールシートの曲げ強度特性（変位－荷重特性）

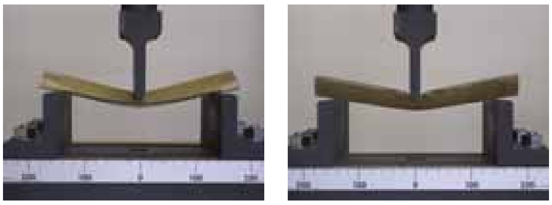
解析結果として，図 6 に変形及びその断面力分布，図 7 に試験結果とともに変位－荷重特性を示す．図 7 より，引張ヤング率を使用した結果の方が，圧縮ヤング率を使用した結果より，試験値の最大荷重値までの傾きによく合う傾

向を示している．従って，段ボールシートの強度要因は原紙の引張特性が大きく影響していることがわかった．

３．３　段ボール箱のコーナー部の曲げ強度解析

（１）試験

段ボール箱のコーナー部の曲げ強度特性を解析するため，折り形状を持つ試験片の 3 点曲げ強さ試験を行った．折り試験片の大きさは長さ 200mm，幅 50mm（支点間距離 150mm）で，折りは幅方向の中央部 25mm の位置とし，折り試験片の角度（90°）を保持するため，試験片の両端をセロハンテープで保持した．試験は，図 8 に示すように，折り試験片の表側と裏側からの曲げを行った．その最大曲げ荷重値を表 4 に，たわみ－荷重特性を図 10 に示す．



(a) **表押し**　　(b) **裏押し**

図8　折り試験片の曲げ強さ試験

表4　段ボールシートの折り試験片の最大曲げ強さ

折り試験片	最大荷重	標準偏差
表曲げ	30.7	1.2
裏曲げ	22.4	1.0

(N)

（２）解析

解析モデルは片持ち梁としてモデル化を行い，図9に示すように1/4モデルとする．段ボールシートは一様な平板とみなし，シェル要素によりモデル化を行う．図13(b)の箱のコーナー部のように，シートの折り部でその厚さが変化するため，図9の色の違いが示すようにモデル化を行う．また，材料モデルは，前報[4]と同様に，圧縮特性と曲げ特性を独立に定義できる異方性を持つ弾塑性モデル[8]を用いる．また，図3より，段ボールの圧縮強度特性の最大点以降は，ひずみの増加に対して最大荷重からの荷重増加はみられないことより，シートを完全弾塑性体[9]とみなす．そして，圧縮強度特性の最大点を降伏点とみなし，その点を降伏応力とする．

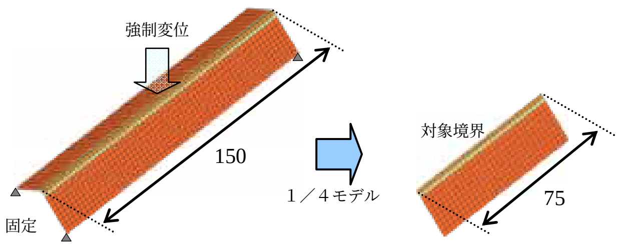


図9　コーナー部の曲げ解析モデル

解析結果として，図 10 に変位－荷重特性，図 11 に断面力分布を示す．図 10 より，解析の変位－荷重特性は，実験の表押しと裏押しの特性の平均的な傾向を示している．

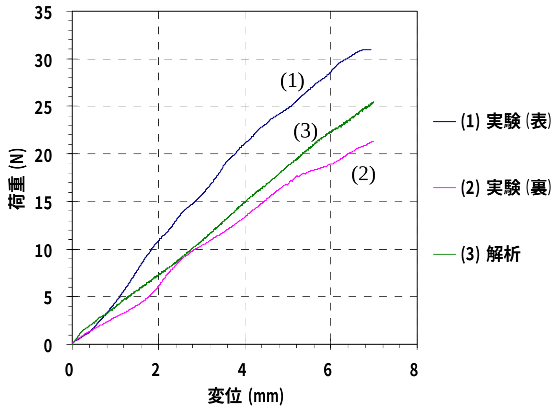


図10　コーナー部の曲げ強度特性（変位－荷重特性）

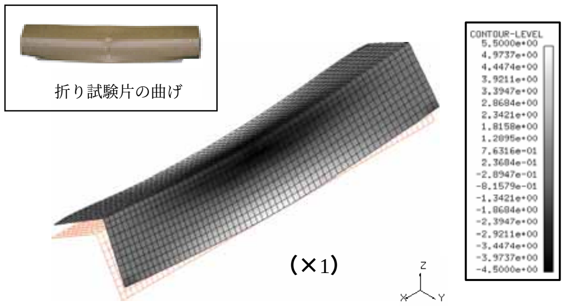


図11　コーナー部の曲げ強度特性
（変形と断面力分布，x方向、変位=7.0mm）

３．４　段ボール箱圧縮強度特性の有限要素解析

（１）試験

試験に使用する段ボール箱は 0201 形式，長さ 380mm，幅 300mm，高さ 234mm（図 12 参照）であり，試験方法は，包装貨物及び容器－圧縮試験方法（JIS Z 0212，B 法）に基づき，試験を行った．その結果，段ボール箱の最大圧縮強さは平均 2919.8N，標準偏差 156.0N であった．段ボール箱の圧縮後の変形を図 14(a)に，代表的な変位－荷重特性を図 15 に示す．

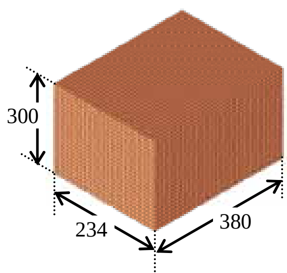
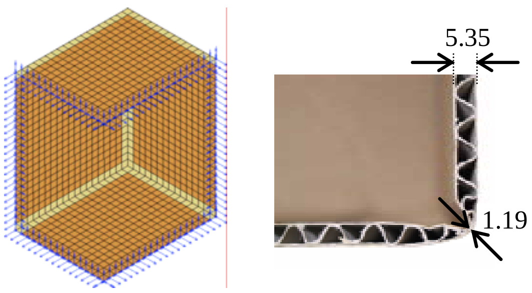


図12　段ボール箱の寸法

（２）解析

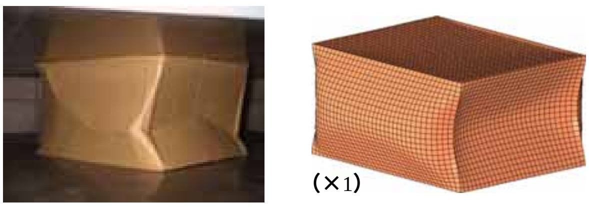
図 13(a)に示すように，段ボール箱の解析モデルは 1/4 モデルとする．そして，対称境界条件を課し，剛体壁により上面からの圧縮及び下面の支持を行う．材料モデルは 3.3 節と同様とする．また，図 13(b)に示すように，段ボール箱のコーナー部は折ることによりシートの厚さが小さくなる．そのため，図 13(a)に示す色の違いは，そのモデル化を示している．



(a) **解析モデル**(1/4)　　(b) **箱のコーナー部**

図13　**段ボール箱のモデル化**

図 14，15 に試験及び解析結果を示す．図 14 より解析と実験の変形はよく一致しているといえる．また，図 15 の変位－荷重特性において，解析結果の最大圧縮荷重点までの変位量は，実験のそれと比べると小さい傾向を示しているが，最大圧縮強さは概ね近い値を示している．



(a) **実験**　　(b) **解析**

図14　**段ボール箱圧縮特性（変形図，変位**=30.0mm**）**

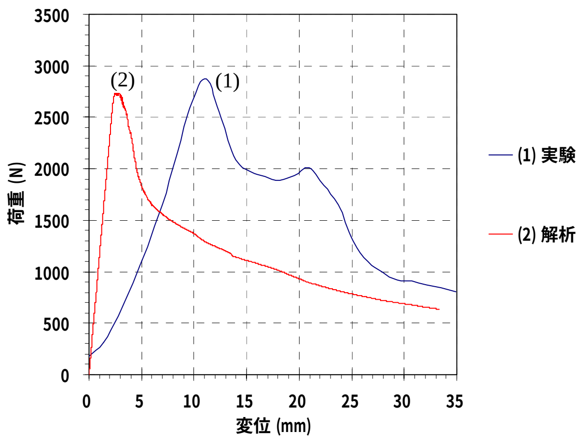
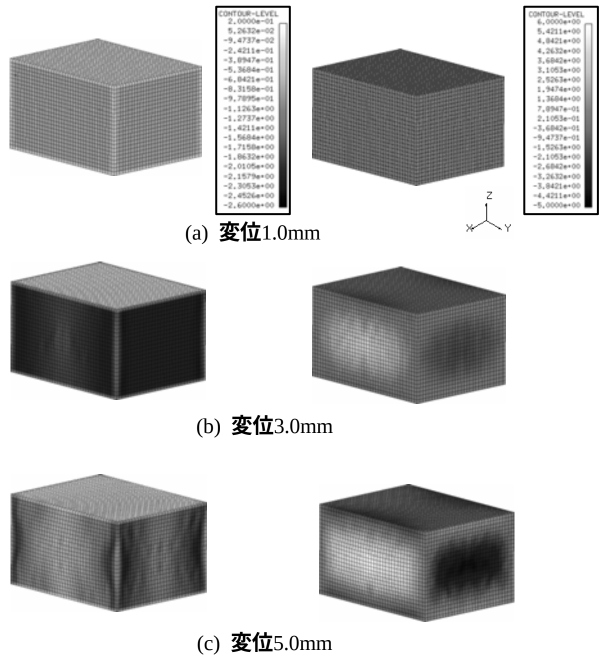


図15　**段ボール箱圧縮特性（変位－荷重特性）**

また, 図 16 に箱圧縮における鉛直方向の断面力分布及び水平方向軸の曲げモーメント分布を示す．最初，段ボール箱の 4 枚の側板の鉛直方向に荷重がかかっている（図 16(b)左）が，その後，側板の座屈が生じることにより，側板の曲げ特性が顕著になっていることがわかる（図 16(1)-(c)右）．



(1) **断面力（鉛直方向）**　　(2) **曲げモーメント（水平方向）**

図16　**段ボール箱圧縮特性（断面力と曲げモーメント）**

４．まとめ

段ボール原紙の圧縮強さ及び引張強さ試験，シートの圧縮強さ及び曲げ試験を行うことにより，段ボール原紙及びシートの基本的な力学特性の測定を行った．

そして，段ボール原紙の強度試験から求めた材料定数を用い，段を詳細にモデル化することにより，段ボールシートの曲げ強度特性の静的弾性解析を行った．その結果，圧縮ヤング率を使用した場合より，引張ヤング率を使用した場合の方が，試験結果によく合う傾向を示した．従って，段ボールシートの強度要因は原紙の引張特性が大きく影響していることがわかった．

また，段ボールシートを簡易モデル化することにより圧縮強さ試験及び曲げ強さ試験から材料定数を求め，折り形状を持ったシートの曲げ強度の静的解析を行った結果，試験結果における表側からの曲げと裏側からの曲げの変位－荷重特性の平均的な傾向を示した．さらに，箱圧縮特性解析を行った結果，最大圧縮強さは概ね近い値を示し，かつ解析と試験の両者の変形はよく一致することがわかった．しかしながら, 解析結果の最大圧縮荷重点までの変位量は，試験のそれと比べると小さい傾向を示すことがわかった．

謝　辞

本研究の遂行にあたり，段ボール関連資材を提供して頂いた協和ダンボール（株）の関係者の方々に深く感謝の意を表します.

文　献

[1]五十嵐清一,“ 2001年度版　段ボール包装技術入門 ”,（株）日報，pp116-146, 2000.

[2]中川幸臣，丹羽一邦，筒井喜平，”段ボールの強度解析シミュレーション”, 包装技術，41-3, pp217-220, 2003.

[3]丹羽一邦，”ダンボール衝撃解析のための実験とシミュレーション方法”，LS-DYNA Users Conference 2001 講演論文集, pp.17-2-15-9, 2001.

[4]川島ら,“ 段ボール製品の強度解析技術に関する研究 ”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告，No.6, pp.17-18, 2005.

[5]日本規格協会,“ JISハンドブック　紙・パルプ ”, 2005.

[6]Campbell, J. G.., “The in-plane elastic constants of paper” , Australian J. Appl. Sci., 12-3, pp356-357, 1961.

[7]石川隆司,“ 複合材料力学入門　第２章　複合材料の弾性・非弾性挙動 ” ,日本複合材料学会誌，22,2, pp76-81, 1996.

[8]（株）日本総合研究所,“LS-DYNA Ver970 User’s Manual Volume Ⅱ”，2003.

[9]鷲津ら,“ 有限要素法ハンドブックⅡ応用編 ”，培風館，pp174-176, 1983.

全身運動を伴うロボットの運動制御に関する研究

稲葉　昭夫　　今井　智彦　　光井　輝彰

田中　泰斗　　小川　行宏　　千原　健司

Motion Planning for a Humanoid Robot “NAGARA-3”

Akio INABA　Tomohiko IMAI　Teruaki MITSUI
Taito TANAKA　Yukihiro OGAWA　Kenji CHIHARA

あらまし　本研究では，多くの関節を有し，多種多様な作業を行うことが期待されているヒューマノイドロボットの動作計画法の１つについて検討した．具体的には，愛・地球博での展示を目指して県内企業と共同で開発したヒューマノイドロボット「ながら－３」に関して，デモンストレーションの中で予定しているサッカーの基本動作を対象にその動作計画法を示した．本研究で示した動作計画法は，動作を構成する一部の動作パターンを変更可能にすることにより，リアクティブに動作が修正可能である．さらに，対象物へ近づくための経路計画においては，単に距離が短い経路を探索するのではなく，ロボットの旋回動作時間等を考慮し，トータルの動作時間が最小になる経路の探索が可能である．

キーワード　ヒューマノイドロボット，動作計画

１．はじめに

ヒューマノイドロボットは，多くの関節を有し，多種多様な作業を行うことが期待されている．ロボットに作業をさせるためには，これをどのように動作させるかを統合的に計画する必要がある．本研究では，このロボットの統合的な動作計画に関して検討する．

この計画には，ロボットをどのように運動させ作業対象物に作用させるかを計画する動作計画とロボットが作用する対象物に現在位置から近づくための経路計画が含まれる．これまでの研究において，さまざまな取組がなされている．動作計画に関しては，大まかに設計された動作パターンや人間の動作のキャプチャーデータを各種の拘束条件や動力学的な整合性を満足させ，ヒューマノイドロボットで実行可能なパターンに変換する「動力学フィルタ」[1][2]等の有効な手法が提案されている．しかしながら，各種の動作パターンの設計指針が陽には明らかにされていなかったり,高速な計算機を必要としたり,オフライン計算を前提としたりするなど若干の制約が存在する．このため，動作パターンをリアクティブに変化させる必要がある動作計画にそのまま適用するにはこれらの制約が軽微な問題になる場合もある．また，経路計画に関しては，車輪型の移動ロボットの分野で，数多く議論され，いくつかの有効な手法が提案されている[3][4]．しかしながら，これらの経路計画は，最短経路を求めるための計画法であり，移動方向の変更に要する時間は考慮されていない．このため，移動する方向を変える旋回動作の時間が比較的大きいヒューマノイドロボットの経路計画にそのまま適用しても，得られた解はいつも最適解となるとは限らない．

このような状況を踏まえ，本研究では，ヒューマノイドロボットの統合的な動作計画手法に関して，各作業を構成する一部の動作パターンを変更可能にすることにより，リアクティブに動作が修正可能な動作計画法と旋回動作の時間を考慮した経路計画手法について検討する．動作を実現する具体的なハードウエアとしては，ヒューマノイドロボット「ながら－３」[5]を使用した．このロボットは，ロボット関連技術の県内企業への蓄積を図るとともに，愛・地球博での展示やデモンストレーションを目指して県内企業と共同で開発した．また，対象とする作業としては，サッカーのキック動作とトラップ動作とする．これらの動作を選ぶ理由は，デモンストレーションとして親しみやすい動作であると共に，これらの動作が，ロボットとボールの相対位置関係の変化にあわせて動作計画をリアクティブに変更する必要がある動作であるためである．

２．キックとトラップに関する動作計画

一般に，ヒューマノイドロボットの対象物に対する動作は，いくつかの基本動作から構成される．このため，本研究では，動作をいくつかの基本動作フェーズに細分化し，これらに対して，個別に運動を記述する．運動は，支持脚の足元からみた腰の運動と腰からみた遊脚の足先

の運動として多項式で記述する．この多項式に関する境界条件は，連続する動作フェーズの運動の位置，速度および加速度が連続となるように定めることとする．

本研究で対象としているキック動作やトラップ動作に関しては，静止した状態での動作や歩きながらの動作などさまざまな形態が想定される．本研究では，問題を簡単にするため，両足をそろえて静止した状態から動作をはじめ，再度同じ状態に戻ってくる動作を対象とする．

２．１　キック動作

キック動作は，次の５つのフェーズに細分化する．

①片足立ち動作
②遊脚の振り上げ動作
③遊脚の振り下ろし動作
④遊脚の引き戻し動作
⑤両脚支持への動作

本研究では，これらの各動作フェーズに関して，次の点に留意して運動を定義した．

〇フェーズ①

この運動は，支持脚の足の上に重心を移動させ，遊脚を離床させる運動であるので，次に示す３つのサブフェーズの運動として定義した．

①－１両足支持での重心移動
①－２重心を移動しながらの遊脚の離床動作
①－３片足支持での静止

ここで，支持脚上への重心移動が完了する前に，遊脚の離床動作を実行する理由は，離床動作時の慣性力によりロボットの動作が振動的になるのを抑制するためである．（重心移動時の後半での重心の減速動作時の慣性力と離床動作時の慣性力とは互いにモーメントを打ち消す方向に働く.）重心移動に関しては，腰の平行移動だけで実現すると，腰の移動量が大きくなるため，腰の平行移動に加えて，上半身を傾けることにより，腰の平行移動量を抑制することとした．

〇フェーズ②③④における重心位置

フェーズ②③④の運動は，ロボットの前後方向の動作であるため，左右方向には大きな慣性力は働かない．さらに，これらの動作の開始時や終了時には，ロボットは静止しているため，慣性力は働かない．このため，静的な安定を保つ必要があり，重心は，支持脚の足の上になければならない．そこで，フェーズ②の開始時とフェーズ④の終了時には，重心が支持脚の足裏の中央の上にあるように境界条件を設定した．さらに，これらのフェーズの運動に関して，支持脚の姿勢をフェーズ②開始時の姿勢を保持することにより，重心位置が支持脚の足裏中央の近傍にあるようにした．

〇フェーズ③における遊脚の動作

ボールをできる限り強くキックするため，フェーズ③の遊脚運動の設定条件を水平平面へ投影した両脚の足先が揃ったとき，足裏が床面に最も近づきかつ速度が最大になるよう定めた．

〇自己位置とボール・ゴールの位置関係の変化に対するキック動作の修正

ロボットが歩行してボールに近づきキックする場合，足裏の滑りや床面の起伏などによる移動軌跡のずれや，何らかの外力によるボールの移動など，ロボット，ボール，目標位置（ゴール等）の相対位置関係が当初計画した関係から変化することが容易に想定される. このため，ロボットがボール近傍で，自己位置とボールやゴールの位置の関係を再計測したデータに基づいて，キック動作を修正できるようにフェーズ③の運動を設定した．ボールを目標方向に蹴り出すためには，フェーズ③の遊脚の足首の運動を床面に投影した軌跡は，ボールと目標位置を結んだ直線L上になければならない（図１）．このため，この直線Lとロボットの基準座標のｙ軸との交点$P(0,\ y_p)$を基準としてフェーズ③の運動を修正する. 具体的には，フェーズ③の運動を床面へ投影した軌跡Kが直線Lと平行になるように，遊脚の股関節のヨー軸にオフセットの回転移動量θを与える．さらに，軌跡Kが交点$P(0,\ y_p)$を通過するように，股関節のロール軸にオフセットの回転移動量φを与える．これらのオフセット量は，基本動作時の移動量に対してフェーズ②の動作中になめらかに加え，フェーズ④の動作中になめらかの減ずることにより付加した．

〇フェーズ⑤

フェーズ⑤は，フェーズ①に準じて，次の３つのサブフェーズに細分化して運動を定義した．

⑤－１重心を移動しながらの遊脚の着床動作
⑤－２両足支持での重心移動
⑤－３両足支持での静止

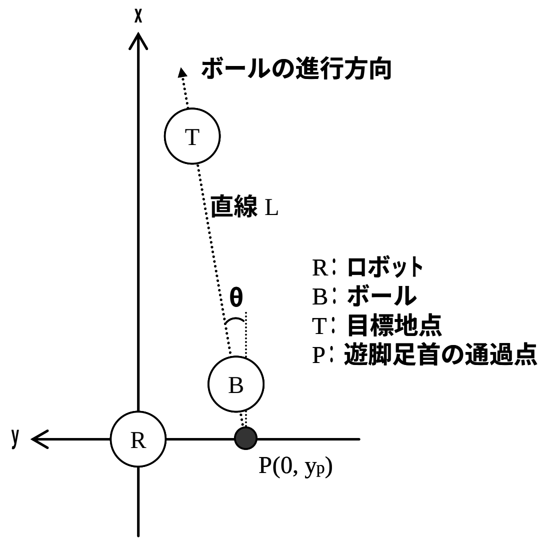


図1　キック時の姿勢調整

２．３　トラップ動作

トラップ動作においては，正面からボールがロボットの足元に向かってくると仮定する．この動作は，片足立ちになって，遊脚の足にボールを当てて止める動作であ

る．本来のトラップ動作は，ボールに遊脚の足を当てた瞬間，ボールの進行方向に足を引いて静止させることが必要であるが，ロボットでこの動作を実現することは，ボールの位置計測時間やロボットの動作速度の問題から実現することは困難である．このため，本研究では，ボールに足を当てることのみに留めることとし，本動作を次の５つのフェーズに細分化する．

①片足立ち動作
②遊脚を開く動作
③姿勢保持
④遊脚を閉じる動作
⑤両脚支持への動作

本研究では，これらの各動作フェーズに関して，次の点に留意して運動を定義した．ここで，フェーズ①⑤に関しては，キック動作と同じであるのでこれらに関する事項は省略する．

○フェーズ②～④における重心位置

フェーズ②～④において，遊脚は，ロボットの側面に大きく開く．このため，重心を支持脚の足の上に保持するためには，遊脚と反対方向に上半身を移動させることが必要となる．本研究では，腰の移動量を抑制するために，支持脚股関節のロール軸にオフセットの回転移動量を加え，上半身を遊脚が開く方向とは反対方向に傾けることとした．このオフセット回転移動量はフェーズ②の動作時に加え, フェーズ④の動作時に減ずることとした．

○ボールの軌道変化に対する遊脚の開閉動作の修正

実際のトラップ時に，ロボットの立ち位置に対してボールが常に一定の位置に到達するとは限らず，ボールの予測軌道および，その到達時間を正確に予測することは困難である．そこで，フェーズ③で保持する姿勢を，遊脚の足首が予測軌道上にあるように調整することとした．また，向かってくるボールの軌道に対して遊脚の足の側面が直角に近いほど，軌道の誤差に対して対応することが可能となるため，遊脚の保持姿勢は，足首がボディの側面にくるように定めた．具体的には，問題を簡単化するために，ボディの側面付近の遊脚の足首の可動範囲内で，足首の保持姿勢の候補を直線でヒューリスティックに定め，この直線とボールの予測軌道が交わる点P(x_p, y_p)を保持姿勢の足首位置とした（図２）．

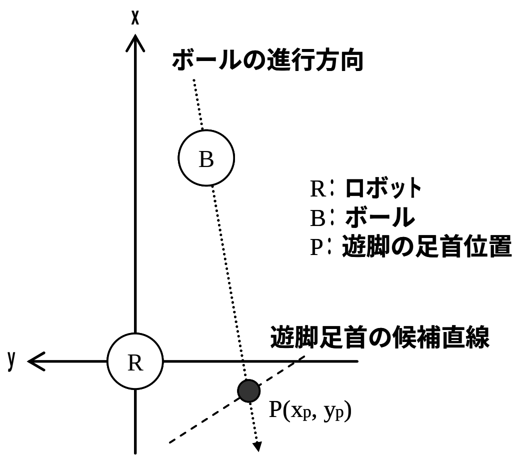


図２　トラップ時の姿勢調整

２．４　シミュレーションによる検証

本研究で定義したキック動作とトラップ動作に関してシミュレーションによりその動作が実行できることを検

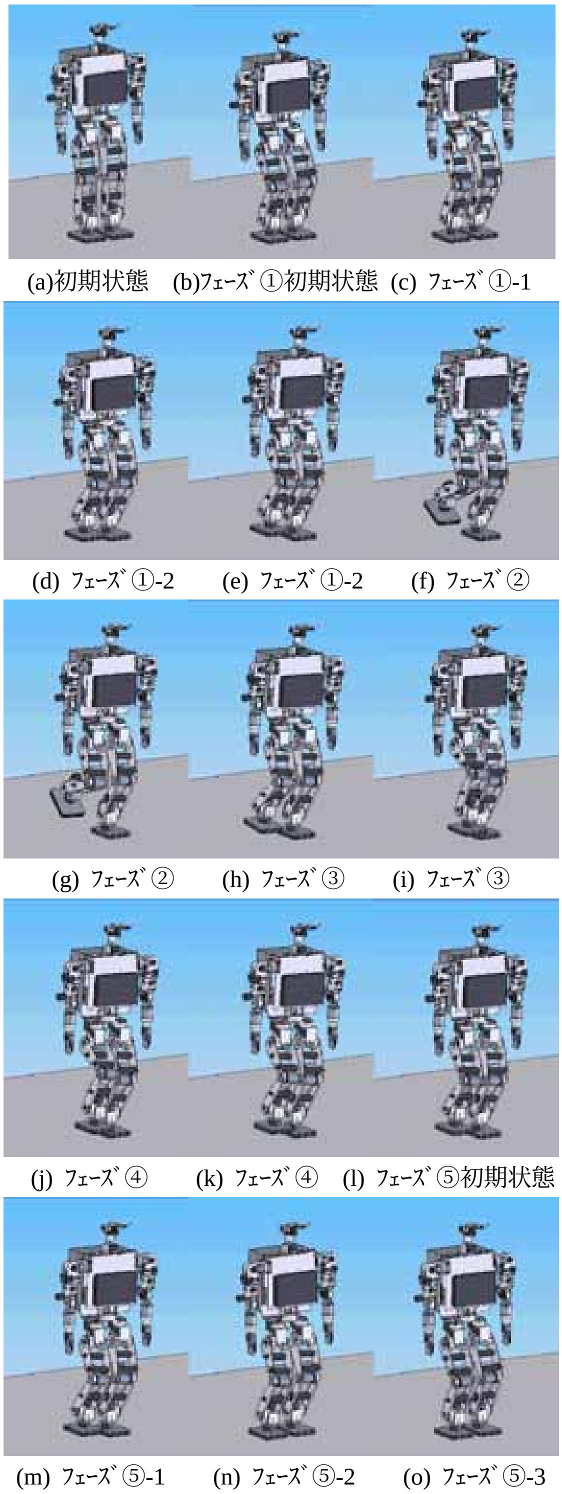
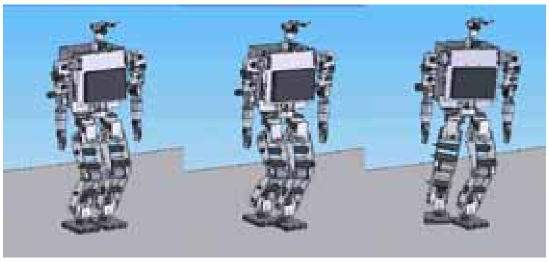
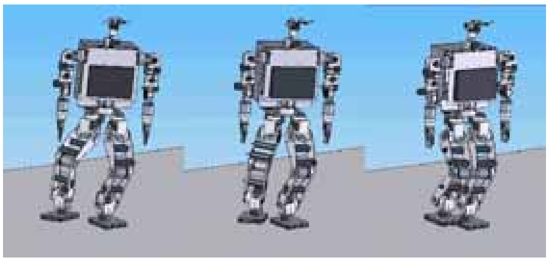


図３　キック動作のシミュレーションの一例



(a) ﾌｪｰｽﾞ①初期状態　(b) ﾌｪｰｽﾞ①　(c) ﾌｪｰｽﾞ②



(d) ﾌｪｰｽﾞ③　(e) ﾌｪｰｽﾞ④　(f) ﾌｪｰｽﾞ⑤

図４　トラップ動作のシミュレーションの一例

証した．この結果を図３，４に示す．キック動作およびトラップ動作に関して，ともにシミュレーション上で安定した動作が可能であることを確認した．

２．５　実験

本研究で定義したサッカー基本プレイ（キック）の動作計画をヒューマノイドロボット「ながら－３」に実装した．キック動作に関する結果を図５に示す．図５において，キック動作がスムーズに実行されていることが確認できる．トラップ動作についても実機に実装し，各フェーズの個々の動作が実行できることは確認した．しかしながら，フェーズ③の長い保持動作はモータドライバの許容負荷を超えることもあり，繰り返し動作させるには至らなかった．そのため，今回のトラップ動作に関する検討は，各フェーズの動作確認のレベルに留めた．



(a) 初期状態　(b) ﾌｪｰｽﾞ②　(c) ﾌｪｰｽﾞ③



(d) ﾌｪｰｽﾞ④　(e) ﾌｪｰｽﾞ⑤-1　(f) ﾌｪｰｽﾞ⑤-3

図５　キック動作の実験例

３．キックに関する移動経路計画

本章では，キック動作を一例として，ヒューマノイドロボットが，静止している目標対象物まで移動するための経路計画について検討する．対象とするキック動作は，ゴールの近くに置いてあるボールに対し，任意の位置にいるロボットが接近し，シュートを行う動作とする．ここで，ボールは，ロボットがキックすることにより，直接ゴールに入れることが可能な範囲にあるものとし，ロボットはゴールの中央に向かってボールをシュートすることとする．

実際のロボットの移動は，床面との滑り等により移動誤差があり，当初から詳細な経路計画を立てても実際にそのとおり実現することは困難である．このため，本研究では，ロボットの現在位置からボールの近傍まで移動する大域的な経路計画とボール近傍で微調整を行う局所的な計画に分けて検討する．

３．１　大域的な経路計画

大域的な経路計画において，ロボットがボールをゴールにシュートするために到達すべき蹴り足の目標位置は，ゴールの中央とボールを結ぶ直線上のゴールと反対側のボールの近傍であり，それを実現するロボットの目標位置は，足とロボット中心の距離だけ直線に対して垂直方向に移動した点である（図６）．本研究では，ボールに対して設定する蹴り足の目標位置の距離を，ボールとロボットが近傍で干渉しない距離として適当に定めることとする．

目標位置への到達経路に関しては，これまでに移動ロボットのモーションプランニングの中でいくつかの有効な手法が提案されている．本研究では，これらの中で，取り扱いが容易なコンフィギュレーション空間（Configuration space）の中で，障害物（C-Obstacle）の頂点および現在位置，目標位置をノードとし，ノード間を障害物と交差しないアークで結んだビジビリティグラフ（Visibility graph）のグラフ探索を用いた手法を基本として最適な経路を求める[3][4]（図７）．但し，コンフィギ

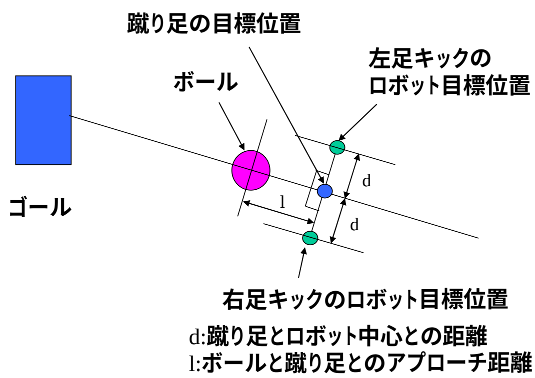


図６　大域的経路計画の到達目標位置

ュレーション空間の中で，現在位置と目標位置とを結ぶ障害物と干渉しない直線経路が存在するときは，それを解とし，ビジビリティグラフによるグラフ探索は行わないものとする．

移動ロボットにおける経路探索は，移動方向の変更のコスト（時間）は無視され，移動距離のみをコストとして最適経路を探索する枠組みが与えられている．しかし，ヒューマノイドロボットは，方向の変更にかかる時間も無視できないため，移動距離のみをコストとして探索して得られた解は，最適解となるとは限らない．そこで，本研究では，アークのコストを，直進経路の移動にかかる時間とその経路を移動するための方向変更にかかる時間の和として定義する．これにより，方向変更のコストを探索空間の中に盛り込む．但し，ゴールのノードに結合しているアークに関しては，ゴール地点に達したときに必要な方向変更に必要な時間もコストに加えることとする．また，ノードに対してアークが，３本以上結合している場合は，その組み合わせ分だけアークとノードを新たに定義し，ノードに対するアークが２本のみになるようにグラフを拡張し，それぞれの組み合わせに応じたコストを各アークに割り付けることとする（図８）．さらに，多くのアークが結合しているノードに関しては，その組み合わせの中から，方向変更にかかるコストの大きい組み合わせを除外することにより，探索空間の爆発を抑制することとする．

このビジビリティグラフで求まるのは，移動経路のみであり，ヒューマノイドロボットに関しては，この移動経路を移動するための具体的な歩行を割り付ける必要がある．本研究では，この割付を，直進歩行と旋回に関して，安定した動作が可能なパラメータの領域中でできるだけ大きな歩幅や旋回量が確保でき，かつ，割り当てる直進区間や旋回移動において，歩幅や旋回量が各ステップで均等になるように割り当てることとした．さらに，長距離区間の歩行により移動誤差が蓄積することを避けるため，一定歩数歩行後停止し，画像により自己位置の確認[6]を行うこととする．このとき，誤差が大きければ，再度，大域的な経路の再計画を行うこととする．

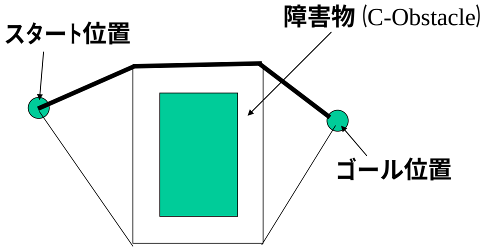


図７　ビジビリティグラフと経路計画

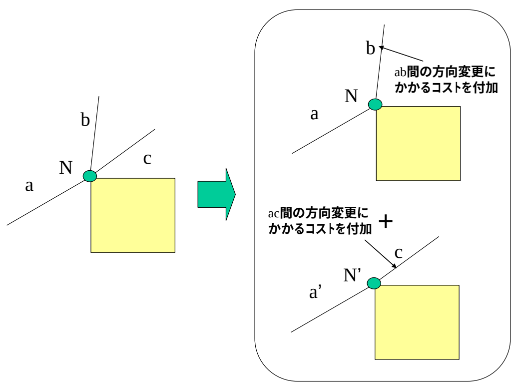


図８　方向変更にかかるコストの付加

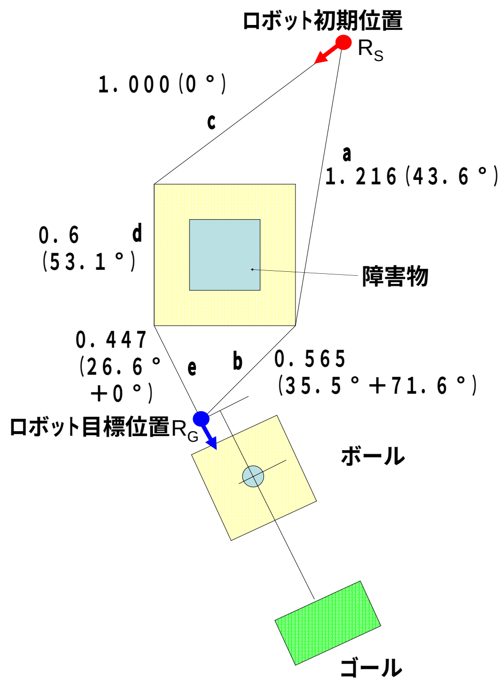


図９　大域的な動作計画の例

３．２　大域的な経路計画の例

本節では，本研究で提案した手法による大域的な経路計画の例を示す．この例は，ボールの前にある障害物を避けてボールに近づき，左足でボールを蹴ってシュートするというものある．ここで，ロボットの歩幅を，最大0.15mとし，一歩の時間を1秒とする．また，一回の旋回動作の最大旋回量を10°とし，その旋回時間を2秒（旋回動作には2歩必要となるため）とする．

前節で述べた方法に従って，ロボットの目標位置を定めると図９の中のR_Gとなる．コンフィギュレーション空間で，ロボットの初期位置R_SからR_Gへの直線的な経路を求めると，障害物と干渉し，直線的な経路では，移動できないことがわかる．このため，ビジビリティグラフを作成する．図９において，各アークの数字は，距離と前の経路からのアークの経路を進むために必要な旋回移動量を示している．各アークに関して，そのコストを計算すると，次のようになる．

アークａ：20秒

$$\left[\begin{array}{l} 1.216 \ / \ 0.15 = 8.1 \text{―>10秒} \\ 43.6 \ / \ 10 = 4.36 \quad \text{―>10秒} \end{array}\right]$$

アークｂ：29秒
アークｃ： 8秒
アークｄ：17秒
アークｅ：17秒
ここで，直進歩行の時間の計算で，端数を切り上げた秒数に１秒を加えている理由は，歩行開始時と終了時の歩幅が設定の半分になるため，一歩分の所要時間を付加している．アークｂとアークｅに関しては，目標地点に到達した後の目標姿勢への旋回移動のコストを含んでいる．このコストに基づいて，最適経路を探索すると，経路ｃｄｅのコスト（42秒）が最小となり，これが最適経路として選択される．この経路は，距離が最短な経路にはなっておらず，本研究で示した旋回動作時間を考慮した経路探索により，トータルの動作時間が最小となる経路が探索されたことがわかる．

最終的な歩行計画は，歩幅0.143mの直進歩行を7歩（歩行開始と終了を合わせて一歩とカウント，以下同様），左方向への8.85°の旋回を6回，歩幅0.15mの直進歩行を4歩，左方向への8.87°の旋回を3回，歩幅0.149mの直進方向を3歩となる．但し，実際の移動に関しては，ロボットの移動量に誤差が生じるため，各ノードの地点で，自己位置の推定を行い，誤差が大きければ，再度，その地点からの経路計画をすることが必要となる．

３．３　局所的な経路計画

局所的な経路計画は，大域的な経路計画による移動が終了し，ロボットの動作位置は，大域的な経路計画で定めた位置から大きくずれておらず，かつ，ロボットは，ゴールの方向を向いていることを前提とし，微調整を行うための計画である．具体的には，ロボットの足先とボールとの距離と方向を画像により測定し，その結果に基づいて，ロボットを斜め方向（前進，横移動を含む）に移動させ，キックを行うための目標位置にロボットを移動させる．

４．まとめ

本研究では，多くの関節を有し，多種多様な作業を行うことが期待されているヒューマノイドロボットの動作計画法の１つについて検討した．具体的には，愛・地球博での展示を目指して県内企業と共同で開発したヒューマノイドロボット「ながら－３」に関して，デモンストレーションの中で予定しているサッカーの基本動作を対象にその動作計画法を示した．本研究で示した動作計画法は，動作を構成する一部の動作パターンを変更可能にすることにより，リアクティブに動作が修正可能である．さらに，対象物へ近づくための経路計画においては，単に距離が短い経路を探索するのではなく，ロボットの旋回動作時間等を考慮し，トータルの動作時間が最小になる経路の探索が可能である．

謝　辞

本研究は，NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の「次世代ロボット実用化プロジェクト（プロトタイプ開発支援事業）」の採択を受け，（社）岐阜県工業会２足歩行ロボット試作特別研究会と共同で実施した．

文　献

[1] 長阪 憲一郎, 稲葉 雅幸, 井上 博允, ”動力学的動作変換フィルタ群を用いた人間型ロボットの全身行動設計”,第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1207-1208, 1999.

[2] K. Yamane and Y. Nakamura: “Dynamics Filter – Concept and Implementation of On-Line Motion Generator for Human Figures,” Proc. of ICRA2000, pp.699–695, 2000.

[3] J. C. Latombe. Robot Motion Planning. Kluwer, 1991.

[4] “新版　ロボット工学ハンドブック　日本ロボット学会編”,コロナ社，2005.

[5] 稲葉昭夫,光井輝彰,久冨茂樹,小川行宏,今井智彦,千原健司,“ ヒューマノイドロボット「ながら-３」の開発 ”, 第6回システムインテグレーション部門学術講演会(SI2005), pp.409-410, 2005.

[6] 小川行宏,山本和彦,稲葉昭夫,“ ヒューマノイドロボットの位置検出手法の提案 ”, 岐阜県生産情報技術研究所報告No7, pp.30-35, 2006

ヒューマノイドロボットの位置計測手法の提案

小川 行宏　　山本 和彦*　　稲葉 昭夫

A Positional Measurement Technique for Humanoid Robots

Yukihiro OGAWA　Kazuhiko YAMAMOTO*　Akio INABA

あらまし 本報告では，ヒューマノイドロボットと対象物が同時に移動する場合について，ロボットに搭載されたカメラの画像情報を利用して，ロボットの自己位置と対象物の位置を計測するための手法を提案する．本手法は，フィールド内に複数の指標を設置し，対象物といくつかの指標をカメラで同時に認識することにより位置計測を行う．また，ロボットに組み込んで高速にリアルタイム処理することを考慮する．本手法に関して，位置の計測実験を行い，実際に使用可能な精度が得られることを確認した．

キーワード ヒューマノイドロボット，画像処理，ステレオ視，位置検出，移動物体

1．はじめに

ヒューマノイドロボットが自律行動を行うためには，周囲の環境を把握し，その状況に対応する必要がある．逐次環境が変化する中で重要となるのが，ロボットが移動しながら対象物を捕捉するとともに，自己位置と移動する対象物の位置を計測することである．環境を把握する上で有用なセンサとして，視覚センサがあげられる．

これまでに，ロボットのカメラ画像を利用し，画像処理技術を用いた位置計測の研究が多く行われている．しかし，カメラ画像の情報を有効に利用するためには，いくつかの問題が存在する．歩行動作に伴いヒューマノイドロボット本体が左右上下に揺動し，対象物体の位置や姿勢が，ロボットのカメラ画像の中では，大きく変化するため，連続した時系列のデータ処理を行うことが難しい．また，カメラの取り付け位置情報に関しても各関節間の機構の誤差や動作に伴うたわみにより精度よく取得することは難しい．さらに，ヒューマノイドロボットの移動における位置精度が十分でないため，一度位置を計測すればよいわけではなく，随時位置を計測し，フィードバックを行う必要がある．

本報告では，ヒューマノイドロボットにおいて，ロボットと対象物が同時に移動する場合について，ロボットに搭載されたカメラの画像情報を利用して，ロボットの自己位置と対象物の位置の計測するための手法を提案する．さらに、本手法をロボットに組み込んで高速にリアルタイム処理することを考慮する．

本手法では，フィールド内に複数の指標を設置し，対象物と複数の指標をカメラで同時に認識することにより位置計測を行う．対象物や指標のカメラ座標系における位置の把握には, ステレオ視の技術を利用して3次元の位置情報を取得する. 各位置情報を3次元座標として扱うことにより，単純な演算を行うだけ，各位置関係を高速に求めることが可能となる．

＊ 岐阜大学 工学部 応用情報学科

2．対象とするロボットの動作

本報告では，以下の動作を対象とする．

- ロボット自身が移動しながら，移動する対象物の位置を計測
- 目標となる位置(対象物の近く)に移動

このような動作において, ロボットの行動計画は2つのフェーズに分けることができる．対象物の近くまで移動するための大域的な行動計画と対象物に近接している場合の局所的な行動計画である．

大域的な行動計画は，ロボットと対象物が離れた位置にある場合にどのような経路で対象物に近づくかを計画するものである．フィールド全体の情報を元に計画し，フィールド上でのロボットと対象物のおおよその位置関係を計測すればよい．



図１ ヒューマノイドロボット「ながら-3」

また，局所的な行動計画は，ロボットと対象物が近接している位置にある場合に，ロボットと対象物の情報のみを使用して，対象物に対する行動を行うための微調整を行うための行動計画である．この場合は，ロボットと対象物の相対位置関係をある程度正確に計測する必要がある．

このように，各行動において必要な情報や精度が異なることから，それぞれの状況に応じた位置計測手法を用いることとする．

また，本報告におけるロボットのプラットフォームとしてヒューマノイドロボット「ながら-3」[1,2](図１)を利用し，移動する対象物(例えば人，ボール等)に対して，ロボットが近づき，対象物に対して行動(握手，ボールを蹴る等)することを動作対象とする．

３．位置計測手法

ロボットに搭載されたカメラから得られた画像情報を用いて，ロボットが移動しながら対象物を捕捉するとともに，ロボットの自己位置と移動する対象物の位置を計測することを目的とする．また，ロボットの動作に反映するために対象物の動作経路を予測する．

３．１　位置計測の概要

大域的な行動計画のためには,フィールド(グローバル座標系)におけるロボットの自己位置と対象物の位置を求めればよい.また,それぞれの情報を求めるためには,ロボット座標系とカメラ座標系の位置関係が密接に関係する．

ロボット座標系とカメラ座標系の位置関係は，カメラのキャリブレーションを行い，ロボットの各関節に関する順運動学を解くことにより求めることは可能であるが，ロボットは多自由度であり，各関節間の機構の誤差や，動作に伴うたわみにより，順運動学を解いて得られた解は，十分な精度を確保することは難しい．しかし，大域的な行動計画の時には，厳密なロボット位置精度は要求されない．そのため，本手法では図2(a)に示すように，カメラ座標系をフィールド上に垂直投影した位置をロボットの座標系とみなすこととする．

グローバル座標系におけるロボットの自己位置については，初期位置がわかればロボットの移動距離に応じて計算可能である．しかし，ロボットの移動精度が十分でないため，移動による誤差が蓄積し，精度良く位置情報を取得することができない．そのため，随時ロボット自己位置を計測することが必要となる．また，歩行動作に伴いヒューマノイドロボット本体が左右上下に揺動し，対象物体の位置や姿勢が画像の中で大きく変化するため，従来の固定カメラによる画像処理，計測技術をそのまま適用することは難しい．そこで，グローバル座標系において位置が既知の指標を用いることにより，グローバル座標系とカメラ座標系の位置関係を計測することでロボットの自己位置を算出する．

カメラ座標系と対象物の位置関係を画像情報等により把握する技術は，これまで多くの手法が提案されている[3,4,5]．これらの手法は，１つのカメラと指標を使用してカメラと指標の位置関係を求めるものであり，途中に繰り返し演算が行われたり，複雑な画像の処理を行っていたりするため，ロボットに組み込んで処理することは困難である．

本手法では,ステレオ視を用い指標を3次元座標として扱うことにより,3つの指標のみで単純な行列演算により計算する．

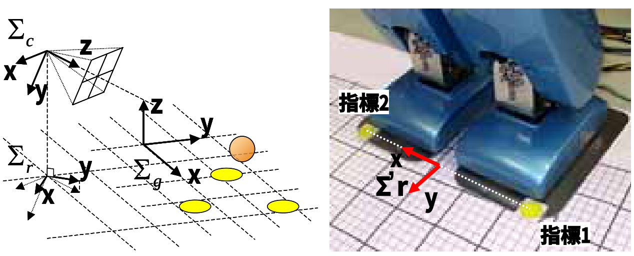
グローバル座標における対象物の位置は，画像処理によりカメラ座標系における対象物の位置を得ることが可能であり，カメラ座標系とロボット座標系の位置関係が求まっていれば計算することができる．図2(a)に座標系の関係を示す．グローバル座標系をΣg，ロボット座標系をΣr，カメラ座標系をΣcである．

局所的な行動計画のためには，ロボットと対象物の相対位置関係を求めればよい．この場合，ロボットの足元に指標を設置し，足元の指標と対象物の相対位置関係を求めることにより，ロボットと対象物の相対位置関係を求める．本手法では図2(b)に示すようにロボット本体に指標を2つ設置し，2つ指標の中点を局所的なロボット座標系(Σr')と設定して相対位置関係を計算する．

３．２　大域的な位置計測手法

大域的な位置計測は，Σgにおける対象物・ロボットの位置を求めることが目的である．本手法では，フィールド上に指標を設置し，対象物と指標の位置をカメラにより同時に認識することにより行う．この時，フィールド上に設置する指標はΣgにおける位置が既知の3つとする．

図3に位置計測手法の流れを示す．まず，2つのカメラ画像から，色抽出処理，ラベリング処理，ラベルごとの重心計算により,対象物と3つの指標の画像情報を同時に



(a) 大域的な位置検出　　(b) 局所的な位置検出
図２　座標系の関係

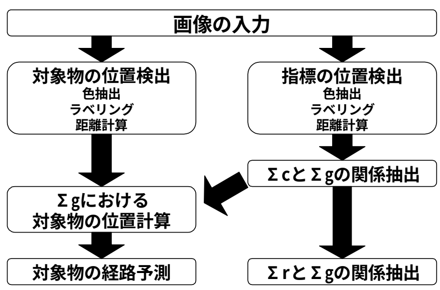


図３　位置計測の流れ

取得する．この時，左右画像における3つの指標の対応について，指標の位置関係により指標の対応付けを行う．取得した各画像座標情報を用い各点のΣcにおける3次元位置を計算する．図4に画像処理結果を示す．画像処理した結果，得られた画像座標に×印を示す．また，対応付けされた指標にはそれぞれラベルをつけてある．

計算式の詳細は付録に述べるがここでは概要を述べる．ある点の各座標系における座標値を(x,y,z)[Σc]，(X Y Z)[Σg]，(Rx,Ry,Rz)[Σr]とする． ΣcとΣgにおける指標の位置から，座標系の関係式を求める．Σcの座標(x y z)とΣgの座標(X Y Z)の変換は，回転・移動成分を持つ変換式で表せる(式1)．

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mathbf{R} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \mathbf{T} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

また，ΣrとΣcの関係は既知であるため，ΣrとΣgの関係を求めることもできる．Σcのz軸方向ベクトルを，Σgに射影したものがΣrのy軸方向となるため，回転行列成分Rの3列目，移動成分の値を使用して，式2となる．

$$\begin{pmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \cdots\cdots\cdots (2)$$

但し，$\theta = \tan^{-1}(r_{13} / r_{23})$

対象物においては，ΣcとΣgの関係式を用いることによりΣgにおける位置を計算できる．これらの演算は座標位置をベクトルで扱い，行列演算により簡単に演算することが可能である．

３．３　対象物の経路予測

対象物と指標をカメラで同時に取得することができれば，ロボットが移動したり，画像が揺れたりしても対象物のΣgにおける位置は取得することができる．リアルタイムに位置を取得できれば，時系列データを用いて，対象物の動作予測を行うことが可能である．

対象物位置の予測には対象物が停止しているか，移動しているかの検出が必要になる．本手法では，対象物の位置をリアルタイムに計測することが可能であるため，過去のΣgにおける位置の平均値と現在の座標位置を比較し，一定以上の移動量があれば移動したことにすることにより，対象物の停止・移動の判別を行う．また，本手法では，ロボットに向かって転がるボールを対象としているため，時系列の位置データから，最小二乗法を用いた直線検出により，ボールの経路を予測する．

３．３　局所的な位置計測手法

局所的な位置計測は，対象物とロボットの相対位置を求めることが目的である．対象物とロボットが近接する場合には，ロボットが足元を見て位置を確認するものとし，カメラが真下を見る前提とする．図5に実際にカメラから得られた画像を示す．指標間の距離はロボット本体に設置するため既知である．

まず，1つのカメラ画像から対象物と指標の画像座標に

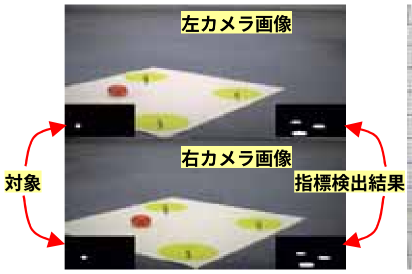


図４　画像処理結果

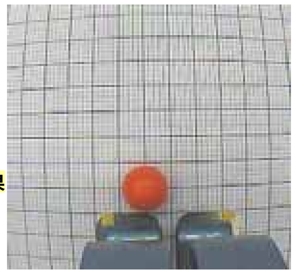


図５　足元の様子(左カメラ画像)

おける位置を計測する．色抽出処理，ラベリング処理により，対象物と2つ指標の画像情報を同時に取得する．画像座標と指標間の距離を用いることにより，対象物とロボットの相対位置が一意に求まる．

３．４　位置計測手法における高速化

本手法における高速化について述べる．画像から色情報を使用した対象物・指標検出を行うことにより，テンプレートマッチングなどのその他の検出手法に比べて，速度が向上する．

また，カメラから得られた画像は，カメラのレンズ歪が生じるため，通常は得られた画像に対して歪補正処理を行う．本手法では，歪補正を簡略化することで高速化を図る．ラベルごとの重心計算を行った後に重心の値に対してのみ歪補正を行う．これにより，通常は取得した全画素に対して行う歪補正の処理を，抽出した対象物と指標の画像座標に対してのみに削減できる．

さらに，座標系の関係演算においては，3×3の単純な行列演算(乗算・逆行列演算)のみで計算可能である．そのため，途中に繰り返し演算が行われたり，複雑な画像の処理を行ったりする必要がない．

処理の高速化によりリアルタイムに位置計測を行うことが可能となり，位置計測結果を利用したロボットのフィードバック制御に十分な速度が得られる．

４．実験

大域的・局所的な位置計測手法のそれぞれについて実験を行った．

４．１　実験環境

実験ハードウェアはヒューマノイドロボット「ながら-3」とし，搭載されているカメラ(MSC-55:㈱モスウェル製)と画像処理ユニット(NVP-930N:㈱ルネサス北日本セミコンダクタ製)を用いる．画像処理ユニットは，2つのNTSC信号を同時に入力可能なものである．

フィールドには指標として円形のプレートを，対象物としてボールを設置する．また，カメラの画像内に指標と対象物が入るような状況を想定する．また，格子状のシートを敷き，指標，ロボット，ボール等の設置位置を計測し比較を行った．図6に実験の様子を示す．

指標はどの方向から見ても同じ形状にするため，3点の指標がほぼ正三角形になるように，グローバル座標系に

においてP0(0,0,0)，P1(-250,400,0)，P2(250,400,0)の座標に設置した．単位はmmである．

使用する画像サイズは512ピクセル×240ピクセルの画像を用いる．今回使用する画像処理ユニットでは，画素の情報がYUV422の形式で保存され，横方向の色情報が半分になる．また，画像メモリのサイズが256×256であることから，色情報の画像処理を画像メモリサイズに合わせるために，このサイズを採用する．

４．２　位置計測手法の基礎実験

位置計測手法についての基本的な性能を検証した．本節では処理速度に関する実験と，対象物，ロボット共に停止した状態においての位置計測精度について実験した．

４．２．１　処理速度

本手法を実装し処理速度を測定した結果，約15.0fps(フレーム/秒)で計測可能であった．ロボットがリアルタイムにデータを取得するのに十分な速度である．

４．２．２　ロボットの大域的な位置計測精度

指標を固定し，ロボットの位置を一定間隔で移動した時の，ロボットのグローバル座標位置を求めた．ロボットの位置は，格子状のシート位置から測定し，初期位置はΣgにおいて(73,-768,0)とし，x方向に-300mmから+400mm，y方向に-800mmから0mm移動した．1箇所につき32回データを取得した．

計測値と設置位置の結果を図7に示す．また，最も近い指標(P0)までの距離に応じた計測値と設置位置の誤差比較を表1に示す．

全体の平均誤差を見ると設置位置との誤差が約35mmと，ほぼ正確に位置を計測できている．また，距離の計測にステレオ視による三角測量を使用しているため，指標までの距離に応じて平均・最大誤差が大きくなる傾向が出ている．

図7の左右の端になるほど，位置精度が悪くなる．これは，指標の一部が取得した画像の端に近くなるため，画像の歪を補正しきれなかった部分が影響しているものと推測できる．

また，誤差の分布についてx方向の誤差がy方向に比べて約2倍程度大きい．これは，画像の歪補正の影響であると考えられる．条件によっては誤差が大きくなる傾向があるので，ロボットが停止している場合や，多少の時間遅れが許容される場合には，平均を用いることで位置の計測の精度向上が期待できる．

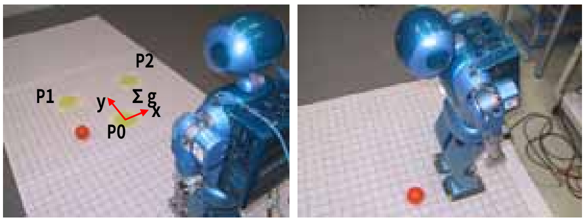
４．２．３　対象物の大域的な位置計測精度

ロボット位置・指標を固定し，対象物を移動した場合の，対象物のグローバル座標位置を求めた．ロボットの位置は，前節で比較的誤差の少ない中心付近のΣgにおける(-60,-1018,0)とした．対象物はx方向に-600mmから+500mm，y方向に-400mmから800mm移動した．1箇所につき32回データを取得した．

対象物の位置計測値の結果を図8に示す．計測値と設置位置の誤差は，平均で14.54mm，最大89.57mmであった．ステレオ視の距離精度が影響し，ロボットの位置から対象物の位置が離れると精度は悪くなるが，位置計測精度としては問題の無い範囲である．

４．２．４　対象物の局所的な位置計測精度

ロボットの位置を固定し，足元を見た状態において，局所的な対象物位置計測の実験を行った．対象物を一定の間隔で移動させた場合の，ロボット座標における対象物の位置を計測した．



(a)大域的な位置検出　　(b)局所的な位置検出

図６　実験の様子

表１　計測値と設置位置の誤差比較(単位はmm)

指標までの距離	平均誤差	最大誤差
～1000	25.9	92.6
1000～1200	32.8	93.0
1200～1500	47.7	157.0
1500～	54.0	221.1
全体	34.1	221.1

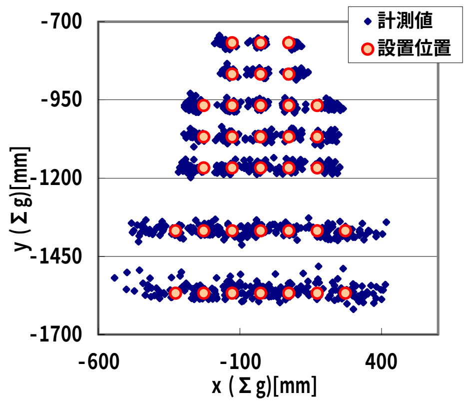


図７　ロボットの大域的な位置検出結果

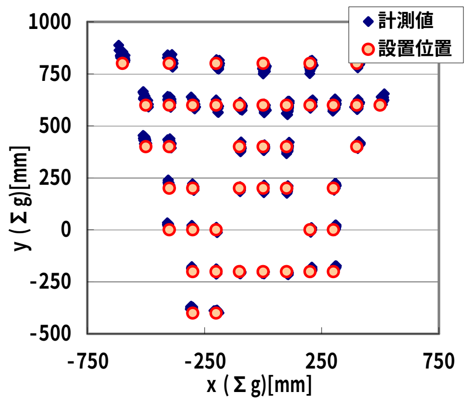


図８　対象物の大域的な位置検出結果

図9に計測結果を示す.設置位置との誤差が全体で平均約8.3㎜，最大約31㎜と，カメラ歪の影響により計測データに歪成分が多少残っているが，ほぼ正確な位置を計測できることが確認できた.

４．３　移動に対する検証実験

基礎実験において,対象物やロボットの位置を固定し，手法の精度検証を行った．本節では，リアルタイムに対象物やロボットを移動させ，対象物の位置・ロボットの自己位置が計測可能か，対象物の経路予測が可能かについて実験を行った.

４．３．１　対象物停止・ロボット移動

対象物の位置を固定し，ロボットを移動させた場合の対象物の位置・ロボットの自己位置を計測した．ロボットの移動は，足踏み，前後移動，旋回，サイドステップなどを行った．ロボットの移動は，指標が視野角に入るような移動とし,700㎜から1300㎜程度はなれたところとする．ロボットの自己位置に関しては，多少の時間遅れを許容し,8フレームのデータの平均値を用いる事とする.

ロボットが各動作を行った時の対象物のΣgにおける計測値と設置位置の誤差を表2に示す．また，ロボットが移動した場合の自己位置の一例として,ロボットが前進4歩，後退4歩を行った場合のロボットのΣgにおける位置を図10に示す.

ロボットが動作を行った場合でも，平均で約11.5㎜と対象物の位置精度は良い．また，ロボットの自己位置に関して，歩行中は頭部が左右に揺動するため，x軸方向に揺れの要素が含まれているが，ある程度正確な位置を計測できていることがわかる.

４．３．２　対象物移動・ロボット停止

ロボットの位置を固定し，ボールを対象物として移動させた場合の位置を計測した．初期状態はボールを停止した状態で，人がボールを蹴ることにより対象物を移動した．比較のための対象物の位置については，取得した画像から値を目視により読み取った.

対象物の停止・移動の検出については，基礎実験における最大誤差が100㎜以内であることを考慮して過去の対象物の平均位置と計測した位置の差が100㎜以上になった場合に，対象物が移動したと判断した．過去の平均位置は約1秒前から0.5秒前までの8フレーム分のデータを利用した．また，予測経路は，検出直前のフレームの時間を0秒として，対象物の移動を検出後の8フレーム分位置データを使用して行った.

図11に対象物の位置を移動検出前と移動検出後でプロットした動的な対象物の位置検出結果の一例を示す．目視による対象物の位置を直線で示した.

ほぼ正確な値を検出できていることがわかる．移動検出後の値で最後の方は対象物の一部が画像からフレームアウトしているため,検出した値が直線から外れている.

図12に経路の予測結果の一例を示す．横軸を時間軸とした予測経路と目視による計測経路を示す．この予測経

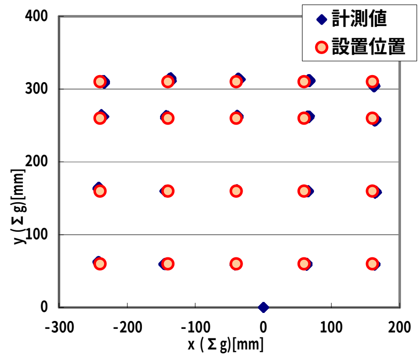


図９　対象物の局所的な位置検出結果

表２　対象物の計測値と設置位置の誤差比較(単位はmm)

ロボット動作	平均誤差	最大誤差
足踏み	9.1	31.9
左右旋回	9.9	32.6
前後移動	10.3	65.1
サイドステップ	11.5	50.6
全体平均	11.5	65.1

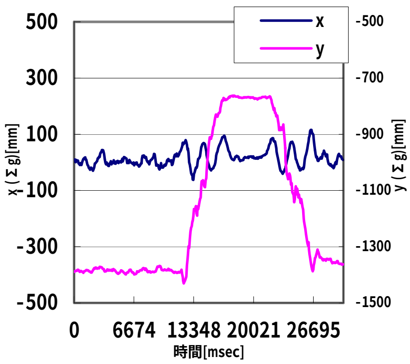


図１０　ロボットが移動した場合のロボット位置検出結果

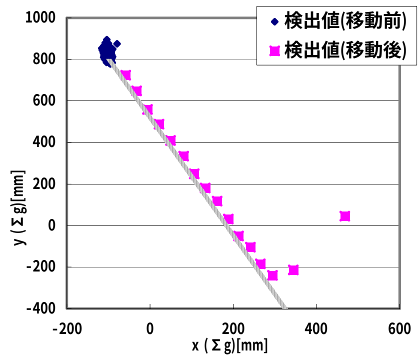
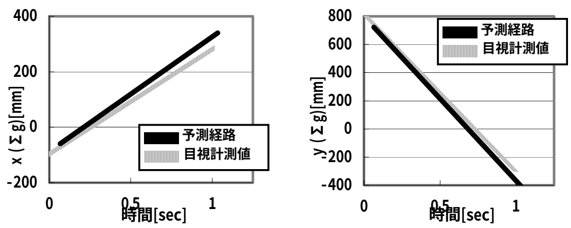


図１１　動的な対象物の位置検出結果の一例



(a) x軸方向　(b) y軸方向

図１２　動的な対象物の位置検出結果の一例

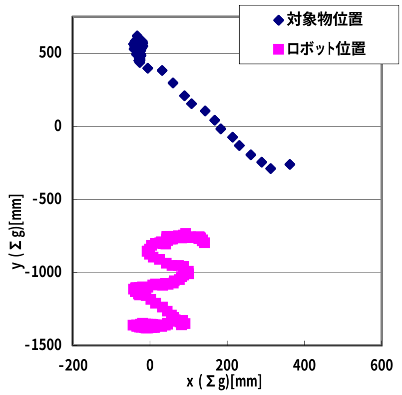


図１３　対象物・ロボットを共に移動した結果の一例

路は使用したフレーム数に依存するが，移動検出後，8フレーム分のデータでほぼ正確に予測することができた．実験によっては移動の検出に遅れがあり，時間分遅れた経路を予測する場合もあった．

４．３．３　対象物移動・ロボット移動

対象物・ロボットを共に移動させた場合の実験を行った．実験結果の一例として，図13に前進しながら対象物が移動する場合について，Σgにおける計測位置結果を示す．対象物の位置，対象物の停止・移動の検出，ロボットの自己位置など，全般的にほぼ正確な値を得ることができた．

５．まとめ

ヒューマノイドロボットと対象物が同時に移動する場合について，ロボットに搭載されたカメラの画像情報を利用して，ロボットの自己位置と対象物の位置の計測するための手法を提案した．本手法では，フィールド内に複数の指標を設置し，対象物と3つの指標をステレオ視の技術を利用して3次元の位置情報を取得することにより，単純な演算を行うだけで，各位置関係を高速に求めることが可能となった．また，実際にヒューマノイドロボット「ながら-3」を用い，ロボットの移動により画像が揺れた場合でも位置を取得できることを確認した．今後の課題は，指標の数を増やし動的に指標を選択することにより，広いフィールドに対して本手法を適用することである．

謝　辞

本研究は，NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の「次世代ロボット実用化プロジェクト（プロトタイプ開発支援事業)」の採択を受けて実施しました．

文　献

[1]稲葉昭夫,光井輝彰,久冨茂樹,小川行宏,今井智彦,千原健司,“ヒューマノイドロボット「ながら-３」の開発”,第6回システムインテグレーション部門学術講演会(SI2005),pp.409-410,2005

[2]小川行宏,稲葉昭夫,“移動物体の位置検出手法の検討”,岐阜県生産情報技術研究所報告No6, pp.27-28, 2005

[3]出口光一郎,多田羅哲夫,“画像合成のための高速・簡易カメラキャリブレーション”,計測自動制御学会論文集,Vol.31,No.8,pp.1015-1022,1995

[4]高橋章,石井郁夫,牧野秀夫,中静真,“人工現実感インターフェースのための嘆願画像からのマーカー位置と姿勢の計測”,電子情報通信学会論文誌,Vol.J79-A, No.3, pp.804-812,1996

[5]加藤博一, Mark Billinghurst, 浅野浩一, 橘啓八郎, “マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション”,日本バーチャルリアリティー学会論文誌，Vol.4，No.4，1999

付　録

各座標系における指標の座標位置をgPi，cPi(但しg:グローバル座標, c:カメラ座標，i={0,1,2})，各ベクトル及び外積を下記のように表す.

$$\begin{cases} {}_{g}P_i = (X_i, Y_i, Z_i)^t = \mathbf{X}_i \\ {}_{c}P_i = (x_i, y_i, z_i)^t = \mathbf{x}_i \end{cases}$$

但し、g:グローバル座標系、c:カメラ座標系、$i = \{0,1,2\}$

$$\frac{\overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_1}}{\left|\overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_1}\right|} = \mathbf{X}'_1,\quad \frac{\overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_2}}{\left|\overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_2}\right|} = \mathbf{X}'_2,\quad \frac{\left(\overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_2} \times \overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_1}\right)}{\left|\left(\overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_2} \times \overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_1}\right)\right|} = \mathbf{X}'_3$$

$$\frac{\overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_1}}{\left|\overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_1}\right|} = \mathbf{x}'_1,\quad \frac{\overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_2}}{\left|\overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_2}\right|} = \mathbf{x}'_2,\quad \frac{\left(\overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_2} \times \overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_1}\right)}{\left|\left(\overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_2} \times \overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_1}\right)\right|} = \mathbf{x}'_3$$

Σ_cにおけるある座標 $\mathbf{x} = (x, y, z)^t$は

$$\mathbf{x} = a\mathbf{x}'_1 + b\mathbf{x}'_2 + c\mathbf{x}'_3 + \mathbf{x}_0 = (\mathbf{x}'_1 \quad \mathbf{x}'_2 \quad \mathbf{x}'_3)(a \quad b \quad c)^t + \mathbf{x}_0$$

$$(a \quad b \quad c)^t = (\mathbf{x}'_1 \quad \mathbf{x}'_2 \quad \mathbf{x}'_3)^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)$$

以下のベクトルの関係式が成り立つため

$$\overrightarrow{P_0P_1} = \overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_1} = \overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_1} \qquad \overrightarrow{P_0P_2} = \overrightarrow{{}_gP_0\,{}_gP_2} = \overrightarrow{{}_cP_0\,{}_cP_2}$$

Σcにおける座標$\mathbf{x} = (x, y, z)^t$のΣgにおける位置$\mathbf{X} = (X, Y, Z)^t$は同様に

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \mathbf{X}_0 + a\mathbf{X}'_1 + b\mathbf{X}'_2 + c\mathbf{X}'_3 \\ &= \mathbf{X}_0 + (\mathbf{X}'_1 \quad \mathbf{X}'_2 \quad \mathbf{X}'_3)(a \quad b \quad c)^t \\ &= \mathbf{X}_0 + (\mathbf{X}'_1 \quad \mathbf{X}'_2 \quad \mathbf{X}'_3)(\mathbf{x}'_1 \quad \mathbf{x}'_2 \quad \mathbf{x}'_3)^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \end{aligned}$$

となる．式を変形すると下記変換式が求まる．

$\mathbf{X} = \mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{T}$　但し，

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} X'_1 & X'_2 & X'_3 \\ Y'_1 & Y'_2 & Y'_3 \\ Z'_1 & Z'_2 & Z'_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'_1 & x'_2 & x'_3 \\ y'_1 & y'_2 & y'_3 \\ z'_1 & z'_2 & z'_3 \end{pmatrix}^{-1}$$

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X'_1 & X'_2 & X'_3 \\ Y'_1 & Y'_2 & Y'_3 \\ Z'_1 & Z'_2 & Z'_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'_1 & x'_2 & x'_3 \\ y'_1 & y'_2 & y'_3 \\ z'_1 & z'_2 & z'_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$$

ヒューマノイドロボット「ながら-3」の展示・実演

小川　行宏　　田中　泰斗　　稲葉　昭夫　　光井　輝彰

今井　智彦　　千原　健司　　西嶋　隆

Exhibition and Demonstration of Humanoid Robot “Nagara-3”

Yukihiro OGAWA　Taito TANAKA　Akio INABA　Teruaki MITSUI
Tomohiko IMAI　Kenji CHIHARA　Takashi NISHIJIMA

あらまし　岐阜県ではロボット関連技術の県内企業への蓄積を目指しヒューマノイドロボット「ながら-3」を県内企業と協力して開発した．本報では，開発した「ながら-3」の展示システムや実演の内容，ステージ上での実演や展示を通して得られた知見等について，「愛・地球博」での中部9県による共同出展パビリオン「中部千年共生村」への常設展示を中心に報告する．

キーワード　ヒューマノイドロボット，展示，デモンストレーション

１．はじめに

岐阜県では，ロボット技術をキーテクノロジーとした産業振興施策「ギフ・ロボット・プロジェクト21（GRP21）」を推進している．この中で産学官連携により平成13年度より実施しているプロジェクトが「2足歩行ロボット試作プロジェクト」である．このプロジェクトでは，地域企業が持つ「ものづくり」に関する優れた技術やノウハウを活用し，2足歩行ロボットの試作を通じてロボット関連技術の蓄積を図り，「新たな産業・雇用の創出」「既存産業の高度化・活性化」を目指している．この一環として，2005年日本国際博覧会(以下，愛称の「愛・地球博」と記述)での展示を目指したヒューマノイドロボット「ながら-3」を社団法人岐阜県工業会と共同で開発した[1,2,3]．本報では，開発した「ながら-3」の展示システムや実演の内容，ステージ上での実演や展示を通して得られた知見等について，「愛・地球博」での中部9県による共同出展パビリオン「中部千年共生村」への常設展示を中心に報告する．

２．展示・実演の概要

2005年3月に「ながら-3」を開発して以降，愛・地球博を中心に各所で展示や実演を行った．「ながら-3」の展示や実演の形態は以下の5つに分類することができる．

- ブース内展示
  愛・地球博の中部千年共生村における常設展示
- ステージにおけるデモンストレーション
  各種ステージにおける歩行動作や上半身動作，音声，画像処理等によるデモンストレーション
- 歩行を伴わない動体展示(動展示)
  上半身動作や音声，画像処理等のデモンストレーション
- 静展示
  動作等を行わない静的なロボット展示
- パネル・ビデオ展示
  パネルやビデオを使用した「ながら-3」の紹介

実演の種類は，場所や時間，対応するスタッフなどに応じて変更した．表1に2005年3月25日から2006年3月24日までの1年間の展示・実演日数の集計を示す．パネル・ビデオ展示以外の総日数は156日と，1年の半分程度はロボット本体を展示・実演した．その中で，ロボットが動いている展示は8割以上を占める130日と1年の約3分の1である．これら展示・実演は，産業振興の面だけでなく，ロボット技術を通した科学技術の振興，教育など公共的な面においても大きな効果があったと考えられる．

各章では，これらの展示形態のうち，愛・地球博におけるブース内常設展示とステージにおけるデモンストレーションについて述べる．

表１　展示・実演日数集計

展示種類	日数	ステージ数
ブース内展示	102日(注1)	ー
ステージデモ	22日	57回
動展示	6日	ー
静展示	26日	ー
パネル・ビデオ	91日	ー
合計	247日	57回

(注1)愛・地球博は185日間だが，ステージデモのための調整や，メンテナンスにより展示日数は102日
(ながら-2の静展示を含めると、常設展示が185日となり、合計330日)

３．愛・地球博における常設展示

2005年3月25日から9月25日までの185日間, 愛知県において愛・地球博が開催され, 岐阜県は中部9県による共同出展パビリオン「中部千年共生村」に出展した．岐阜県のロボット産業振興に対する取組をアピールすることを目的とし「千年の共生，人・自然環境とロボット」をテーマに「ながら-3」の常設展示を行った．

常設展示の場所は中部千年共生村の観覧コース上にあり，観客とのインタラクティブ性を持たせることを主眼に開発した．また，長期間の稼動となるため，ロボット専門の担当者が常に駐在せず，ロボットの知識の無いスタッフでも操作が可能で，保守作業を軽減できるシステムとした．さらに，この展示は試作機として開発したロボットの連続動作に対するハードウェア耐久試験を兼ねるものとした．

３．１　常設展示システム概要

図1に展示ブースの外観を示す. ガラスで囲まれたブース内にロボットを設置する．ロボットの後部に固定用治具を設置し，腰の部分でロボットを固定する．ロボットの動作は, 腰を含めた上半身と音声による動作のみとし，下肢の動作は行わないものとする．

図2にシステムの構成を示す．システムは，ロボット本体，制御用パソコン，映像用パソコン，電源ボックス，コントロールボックス，ブース上部の超音波センサで構成される．コントロールボックスには，非常停止用のボタンと複数のトグルスイッチが配置されている．

システム全体の制御は制御用パソコンで行う．常設展示システムの開始は，制御用パソコン上のアプリケーションの起動後に，コントロールボックスのトグルスイッチを順番に操作することにより行う．これにより作業の単純化を図り，一般的に複雑なロボットシステムの調整作業を容易にする．システムの開始後は，プロモーションビデオの状況や観客の状態を制御用パソコンが判断し，ロボットは自動的に動作する．システムの終了時はアプリケーションを終了して電源を切るだけである．



(a) 全体　　　(b)「ながら-3」

図１　岐阜県ブース外観

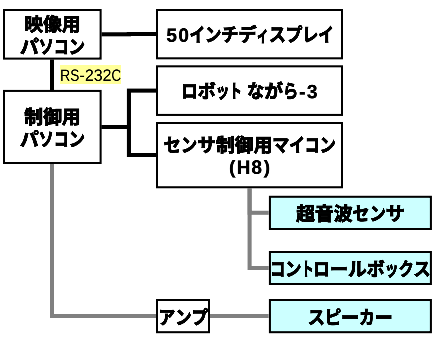


図２　システム構成

３．２　基本的な動作

システムの基本的な動作は，ブース上部の超音波センサにより観客の有無を検知し，観客を検知した場合にシステムに設定されている上半身を使用したジェスチャや発話を行う．観客を検知した場合は観客の方向を向くように制御する．

中部千年共生村で規定された観覧コースでは，観客はロボットの右手から左手方向に移動するため，超音波センサはロボットの右手と前方向の2箇所に設置した．図3にシステムの基本動作の一例を示す．

○お客さんがブースの前に来ると
「いらっしゃいませ．どうぞ，ゆっくりしていってください.」「こんにちは，ようこそ，岐阜県ブースにいらっしゃいました.」と出迎える
○お客さんが目の前で立ち止まっていると
ジェスチャを交えて自己紹介や岐阜県の紹介する
「こんにちは，私はながら-3です．私は，岐阜県で生まれました.」
「いろいろなジェスチャをしたり，人のように，２本の足で歩いたりすることができます.」
「岐阜県では，地域の産業を振興するため，伝統の技から最先端技術までを，積極的に取り入れてロボットの開発を行っています.」
○お客さんがいなくなると
「さようなら，また，逢いましょう」と挨拶する
○お客さんが右側に来ると
右側を向いて動作する
○お客さんが正面にくると
正面を向いて動作する

図３　常設展示システムの動作例

常時ブース中央に設置した50インチディスプレイに映像用パソコンから岐阜県のロボット産業振興の取組を紹介する動画を同時に放映している．そのため，一定間隔で映像用パソコンから同期信号を受け取り，内部で，動画のタイミングと動作のタイミングの調整を行っている．

通常動作に関して，ロボットが常に動作を行う状況が続くとモータの発熱など故障原因となるため，同期信号を利用して, ロボットの動作時間に下記の制限を設けた．

- 20分毎の同期信号に合わせ17分稼動，3分休憩
- 観客が不在の場合，ロボットは休憩

また，保守管理のため下記のログを保存することとした．

- ロボットの状態(ロボットの異常状態，モータなどの温度上昇等のモニタ)
- 各種通信データ(ロボット動作コマンド，映像同期信号等)
- 超音波センサの状態変化
- コントロールボックスの状態

ロボットに何らかの異常が発生した場合は，ログを確認することによって異常の原因を特定することが可能となる．

３．３　緊急時の対応について

常設展示システムは自己復旧が不可能な異常を検知すると，ロボットの音声によりスタッフに通知する．コントロールボックスの非常停止ボタンを押すことによりシステムを安全に停止することが可能である．また，ロボットの胸部に設置した電飾の点灯で外部からロボットの状態を把握可能である．

ロボットの保守に関して，単純な修復作業はロボットの知識を持たない現地のスタッフで行い，特殊な状況が起きた場合に限り当研究所のロボット専門のスタッフが保守作業を行う体制とした．

なお，連続動作に伴う軽度のモータ発熱を検出した場合は，警告を発することなく自動的に動作を中断し、モータが冷却されたことを確認した後，動作を自動的に再開する構成とした．

３．４　実証結果

表2に愛･地球博開催期間のブース内展示日数の集計結果を示す．開催期間185日のうち，ステージでのデモンストレーションの準備のため，一部期間は「ながら-2」の静展示を行った．そのため，転換日を除いた総展示日数は102日である．

ブース内展示の動作状況を分類した結果を表3に示す．ロボットの初期化処理完了時間からロボットの停止処理が実行されるまでの動作時間により分類する．開館時間は9時から21時(4/25までは9時半から20時半)の12時間(4/25までは11時間)である．

一日中正常に動作したのは，全体の3分の2であった．また,1日に8時間以上の正常動作は全体の約8割であり概ね正常に動作していた.正常動作が8時間以上に含まれるものは，ロボットが異常を検出した場合に現場スタッフによる修復で復旧したものや，閉館前にエラーで停止したもの，開館前から保守作業を行い開館まで作業が長引いたものなどが含まれる．

主に行った保守作業を表4に示す.故障原因の大半は配線に関連している．ロボットの原点検出用スイッチの断線によるロボットの初期化失敗や，温度センサの配線の断線により正常なモータ温度の測定ができなくなったもの，コネクタ部での接触不良など，システムを動作させるために不可欠な部分の故障が認められた．しかし，何れの場合においてもロボットは暴走することなく，事前に故障を検知することに成功した．より長期間安定して動作させるためには，配線の固定や配線量の削減などが重要であると思われる．

また，発熱によるモータの焼損，システムソフトウェア等によるシステム異常は無かった．常設展示における耐久試験全般において，試作機として製作したロボットとしては,十分な耐久試験結果が得られたと考えられる．

表２　ブース内展示日数

展示状態	日数
ながら-3の動態展示	102
ながら-2の静展示(注2)	77
ながら-3からながら-2への転換日(注2)	3
ながら-2からながら-3への転換日(注2)	3
合計	185

(注2)ステージデモンストレーションのため「ながら-3」をメンテナンスする必要があり，その間「ながら-2」の静展示を行った．

表３　ブース内展示の動作状況

動作状況	日数	総動作時間 [hour:min:sec]	一日平均 動作時間
正常動作	68	836:40:27	12:18:15
正常動作8時間以上(注3)	11	114:06:59	10:22:27
正常動作が少	10	41:36:13	4:09:37
動かさなかった日(注4)	13	--:--:--	--:--:--
合計	102	992:23:39	9:43:96

(注3)ロボットが異常を検出した場合に現場スタッフによる修復で復旧したものや，閉館直前にエラーで停止したもの，開館後のメンテナンスにより復旧したものが含まれる．
(注4)エラー発生のため「ながら-3」の電源を入れずに動作させなかった日

表４　ロボットの保守作業一覧

保守日	異常 発生日	エラーの原因	対応 日数
3/29	3/28	通信線の接合不良	1日
4/27	4/26	通信線の接合不良	1日
5/ 9	5/ 8	通信線の接合不良	1日
6/24	6/21	左掌スイッチ断線	3日
8/16	8/10	左掌温度センサー配線断線 右肘モータドライバ不良	6日(注5)
8/26	8/20	右肘モータドライバ不良	6日(注6)
9/ 6	9/ 5	同期信号停止	1日
9/14	9/13	左肘スイッチ断線	1日

(注5)ステージデモンストレーションを行っていたためスタッフ不在により対応の遅れが生じた
(注6)現場担当者とロボット担当者の連絡ミスにより対応の遅れが生じた

４．ステージデモンストレーション

各種ステージにおいてロボットのデモンストレーションを行った．本章ではデモンストレーション専用のアプリケーションとデモンストレーションの内容について述べる．

ステージにおけるデモンストレーションは，司会者とロボットの動作(歩行，ジェスチャ，音声等)によって進行する．一般的にはロボットに動作コマンドを送付することでロボットが動作するため，単純にコマンドを打ち込むようなインターフェースでは，複雑なロボットの連続した動作を行うのは難しい．また，司会者とロボットとのタイミングを合わせるのが難しい．

そこで，ボタンを押すだけで自動的に指定された複数動作を連続して行うソフトウェアを開発した.図4に開発したソフトウェアの外観を示す．ボタンに対して，連続した動作が割り当てられており,1つのボタンで複数の動作や複雑な動作を指定することができる．50msec単位で

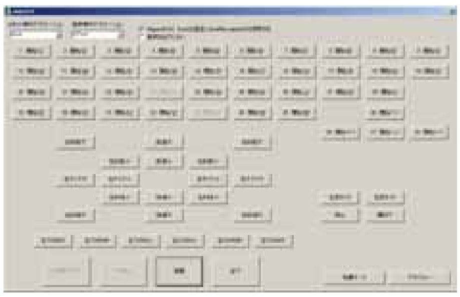


図４　デモンストレーション用のソフトウェア

の制御が可能であり，ステージデモンストレーションではロボットの歌唱に合わせて上半身の動作を振付けることが可能になった．また，歩行動作の誤差を修正するため,ロボットの位置を微調整する動作を指定可能である．

ステージは1回15分程度とし以下の内容を行った(場所によって内容は異なる).

・　歩行動作の実演
・　ジェスチャと音声による自己紹介
・　身振りを伴う歌唱
・　ボールのキック動作
・　ロボットのカメラ映像の提示
・　人の顔探索・動作模倣
・　写真撮影会

図5に愛･地球博の中部千年共生村で行われた岐阜県ワークショップにおけるデモンストレーションの様子を示す．また，図6に画像処理によるデモンストレーションの様子を示す．

ステージではロボットとのふれあいを重視した．ロボットのカメラに映る観客の映像を提示や，ステージ上で観客の一人の顔を探索し観客の顔を追尾するようにロボットの頭部を制御するなどのデモンストレーションを行った．ステージ環境によって画像処理の精度が対応できないこともあり，手動での動作に切り替えて行うこともあった．

観客の反応は概ね良好であり，岐阜県のロボット開発への取組や，技術のアピールができたと考えられる．一方，動作の速度が遅い，他のヒューマノイドとの違いがわからないなど厳しい意見もあり，今後どのように，ヒューマノイドロボットで培った技術を活用してゆくのかを明確にする必要があると認識した．



(a) 2体での実演の様子



(b) ボールを蹴る様子





(c) カメラ映像紹介　　(d) 顔の探索・動作模倣

図５　ステージデモンストレーションの様子

５．まとめ

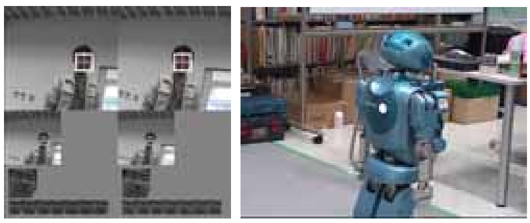
ヒューマノイドロボット「ながら-3」の展示システムや実演の内容について述べた．愛・地球博の常設展示においてはロボットの耐久試験を兼ねており，十分な実証結果が得られた．各展示・実演を通してロボットに対する様々な反応や意見を得ることができ，産業振興の面だけでなく，広く一般にロボット技術を通した科学技術の振興，教育など公共的な面においても意義ある役割を果たしたと考えられる．

謝　辞

「ながら-3」は，NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の「次世代ロボット実用化プロジェクト（プロトタイプ開発支援事業）」の採択を受け，社団法人岐阜県工業会と共同で開発した．

文　献

[1] 稲葉昭夫,光井輝彰,久冨茂樹,小川行宏,今井智彦,千原健司,“ヒューマノイドロボット「ながら-３」の開発”,第6回システムインテグレーション部門学術講演会(SI2005),pp.409-410,2005
[2] 小川行宏,稲葉昭夫,“移動物体の位置検出手法の検討”,岐阜県生産情報技術研究所報告No6, pp.27-28, 2005
[3] 小川行宏,田中泰斗,山本和彦,張勤,稲葉昭夫,“人の動作模倣手法の検討-インタラクションに基づく親和性向上に関する研究-”，岐阜県生産情報技術研究所報告No6，pp.29-34，2005



(a) 顔を探索し、顔を向ける動作



(b) 人の動作の検出，動作模倣

図６　画像処理を用いたデモンストレーションの様子

情報収集(被災者捜索)ロボットの移動機構に関する研究(第４報)

田畑　克彦　　稲葉　昭夫　　今井　智彦　　天野　久徳*

鈴木　隆司*　　光井輝彰

Development of Mobile Robot to Gather Information for Relief Activities (IV)

Katsuhiko TABATA　Akio INABA　Tomohiko IMAI　Hisanori AMANO*
Takashi SUZUKI*　Teruaki MITSUI

あらまし　大震災等の大規模災害後の救助活動において，被災者やその周囲の情報を収集する情報収集ロボットの活用が期待されている．これらのロボットの情報収集範囲を拡大するためには，ガレキ上を移動でき，ガレキ内にも進入できるよう，高い走行能力を持たせる必要がある．この要求を実現するため，形状変化機能をもたせたクローラ型の全方向移動システムCUBIC-Rを開発している．本年度は，機構的な改良を加えた部分的な試作機を用いた走行実験により，その機構の妥当性を確認したのち，課題として残されているロボット上部の防塵化のためのトップカバーを含めた試作機全体を製作した．本報告では，上記内容について報告する．

キーワード　情報収集ロボット，移動機構，形状変化機能，大規模災害

１．はじめに

大地震などの大規模災害後に，救助隊員などの救助者による捜索が困難な場面において情報収集ロボットの運用が期待されている．救助者による捜索が困難な場面とは，捜索対象区域の空間が人間では捜索できないほど狭い，もしくは二次災害の危険が伴う場面である．前者は想像に難くないが，後者は捜索対象区域に人間に危険なガス(一酸化炭素，二酸化炭素，もしくは可燃性ガスなど)が充満している，あるいは地震や火災による構造物の弱体化により二次倒壊の危険性がある，などが考えられる．また，二次災害の可能性がある環境下では，崩壊した構造物のガレキだけでなく，崩壊を免れた構造物，たとえば，階段，段差などが存在する．したがって，ロボットが捜索活動を行うためには，不整地に対して走行能力の高い移動システムが必要となる．

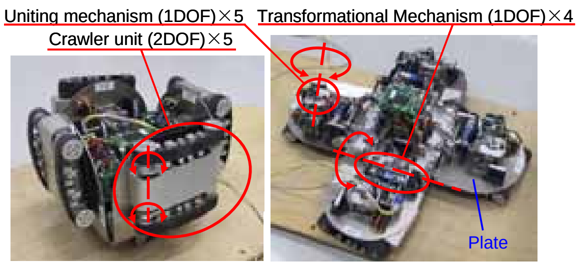
これまでに，我々は二次災害の危険性がある家屋内での情報収集を想定し，移動システム(CUBIC-R+)の研究開発を行ってきた[1~3]．具体的な構成としては，クローラユニットを変形機構により，十字形に連結した移動システム(図1)であり，その特徴は次の通りである．

- 機構を状況にあった形状に変形させることでガレキ，階段，段差などの様々な不整地路面上の走行と開口部への進入が可能
- 十字形にクローラユニットを連結しているため，それまでの進行方向に対して，垂直の方向に同等の走行能力で移動できるので,狭い空間での進行方向の変更が容易

昨年度は，CUBIC-R+の走行実験により判明した機構面における幾つかの課題を解決するため,機構部に改良を加えた部分試作機を製作した[4,5]．(図2)

本年度は部分試作機の性能評価と，それに基づき改良した完全試作機(CUBIC-R2)の製作と評価を行った．

最初に，本研究所が参画している大都市大震災軽減化特別プロジェクト(以下,大大特)の統括機関の一つであり,研究協力機関である非特定営利法人 国際レスキューシステム研究機構(以降,IRSと記す)の川崎ラボラトリで行われた走行会に参加し，部分試作機において改良された機構部の妥当性と走行能力を確認した．



(a)格納時　(b)展開時

図1 CUBIC-R+の概要

＊ 独立行政法人 消防研究所 基盤研究部
消防機械研究グループ

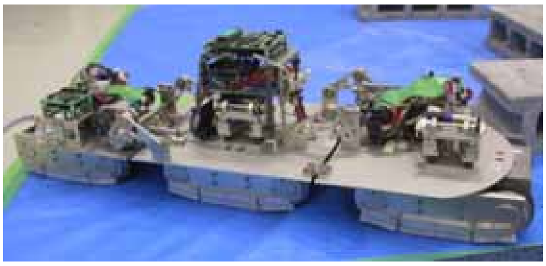


図2 改良した部分試作機

さらに,課題として残されていたロボット上部の防塵化検討のため,トップカバーを設計・製作し,このトップカバーを含めた完全試作機を製作し,走行能力の評価試験を行った.なお,この評価試験は,本ロボット運用形態で想定している無線通信化を行った後,実施した.

2章に部分試作機の改良点についての概要と,本試作機における走行試験の結果について述べ,3章にトップカバーの設計/製作および無線通信化等の完全試作機の製作と評価について述べる.最後に,4章で報告をまとめる.

2．部分試作機の開発と評価

2．1 部分試作機の改良点

これまで開発したCUBIC-R＋においては,幾つかの改良すべき課題が判明したため,昨年度, 図2に示す3面からなる部分試作機を製作した．試作機の主な改良点を以下に示す．なお,詳細については文献[4][5]を参照されたい.

①結合機構ブレーキ部の改良

電磁クラッチ方式から，ピンロック方式の新規ブレーキユニットを設計製作することにより，クローラユニットの方向を保持する結合機構ブレーキ部の制動力向上と省消費電力化を実現した.

②クローラユニットの改良

簡易的な防塵カバーを付加することにより,被災現場に散乱すると予想されるコード類や布類などの比較的大きな異物がクローラベルトなどの動力部に挟まり,スタックする可能性を低減した.

さらに,クローラユニット単体の走行能力(段差走行能力および出力)を向上させることにより,ロボット全体の走行能力の向上を図った.

③接地検出機構の開発

将来的に開発予定の遠隔操縦システムに必要と考えるクローラユニットの接地有無を判断するための機構を設計製作した.

2．2 走行試験と結果

（1） ロボット走行会

部分試作機の走行能力と，その機構的な改良点である前述の①と②の妥当性を確認するため,平成17年11月27日にIRSの川崎ラボラトリで行われた「瓦礫上移動体を用いた情報収集ミッションユニット(以下,瓦礫上MU)」走行会に参加した.

この走行会は,大大特もしくは瓦礫上MUに参画している研究機関の開発ロボットの基礎的な走行能力および遠隔操縦システムの確認と,ロボット評価地形の検討のためにIRS主催にて実施された．当日は,計16台のレスキューロボットが参加し,目視操縦と遠隔操縦によるロボットの走行実験が行われた．なお,当研究所からは,CUBIC-R+と部分試作機の2台のロボットが参加し,目視のみの走行実験を行った.

（2） 走行会における実験項目

本走行会でIRSが用意した評価項目は以下の5つである．なお,路面の材質はすべて木材としている.

① 段差上り

ステップ状の段差に対してロボットが垂直にアプローチして上ることができる高さを確認する．調整可能な高さ間隔は約2cmである.

② 斜め段差上り

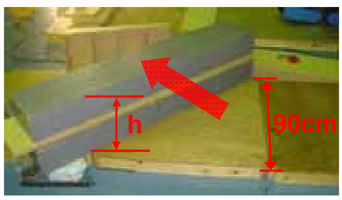
図3(a)のように斜め45°に設置されたステップ状の段差を幅90cmの足場から脱落しないで,ロボットが上れる高さh(cm)を確認する. 調整可能な高さ間隔は約2cmである.

③ 斜面上り

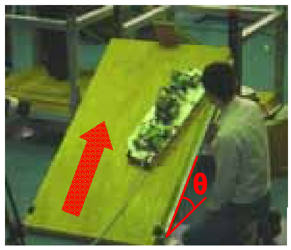
図3(b)のように,ロボットが登坂できる斜度θ(°)を確認する．調整可能な角度間隔は約5°である．なお, 同図内のロボットは部分試作機である.

④ 斜面横断

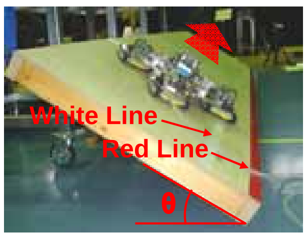
図3(c)のように,斜面を紙面に垂直の方向に横断する. 同図の右側の赤線より20cm上方に白線があり，白線に合わせてスタートした後,赤線を踏まないように3m程度横断し，横断可能な斜度θ(°)を確認する．調整可能な角度間隔は約5°である．なお，同図内のロボットはCUBIC-R+である.



(a) 斜め段差上り



(b) 斜面上り



(c)斜面横断



(d) 階段上り

図3 走行会における評価機材の一例

⑤　階段上り

図3(d)のように,蹴上げ22.5cm一定とし,踏み面tを調整して,ロボットが走行可能な踏み面tを確認する．設定した蹴上げの高さは,建築基準法で定められた最大値である．

（3）　走行会の結果と考察

表1に当日の実験結果を,表2にロボットの仕様を示す．また,図4に各実験項目に参加したロボットの結果平均値で正規化したレーダーチャートを示す．ここで,表1および図4の丸で囲った番号は,前述の試験項目の番号と統一している．

ここで,図4のレーダーチャートはIRSの集計データをもとに作成したもので，点線が参加ロボットの結果平均値であり，実線が当研究所ロボットの実験結果である．

表1から,部分試作機のほうがCUBIC-R+よりも段差の走行能力が向上していることがわかる．これは,表2のようにロボット長が長くなったためである．

次に同表において,CUBIC-R+では,段差の走行実験①と②ではほとんど差がないのに比べ,部分試作機においては差があるのは,90cmの足場内であれば,どのように上っても良いことを知らなかったためである．実際には,垂直アプローチが可能であるため,CUBIC-R+と同様に実験①と②に差がないと思われる．

したがって,図4のレーダーチャートにおいて,実験②が実験①とほぼ同じと考えると,すべての実験において平均値の1程度となり,本実験結果を見る限りでは,バランスの取れた機体であることが分かる．逆にCUBIC-R+は,段差上りの実験①と②において平均値を下回っている．

また同図の結果は,CUBIC-Rが凡庸な能力しか持たないように見えるが,ロボットのサイズや重量もさまざまであるため,単純に比較することはできないと考える．

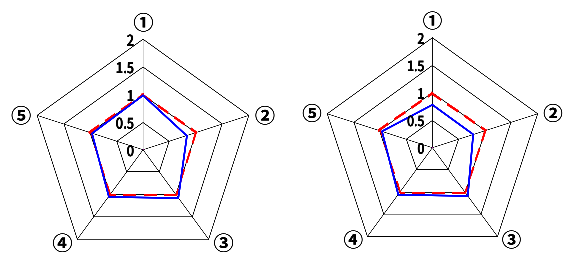
その他の参加ロボットとの比較論については,IRSの研究であるため,本報告書では考察しない．

表1　走行会の結果

No.	Item	Results: Partial new model	Results: CUBIC-R+
①	Traversing a step	Height 318 mm	255mm
②	Traversing a step diagonally	Height 273mm	252mm
③	Going up a slope	Inclination 35degrees	same as left
④	Traversing across a slope	Inclination 35degrees	same as left
⑤	Traversing the stairs	Angle of flight 42 degrees (rise 225 mm, tread 250 mm)	same as left

表2　当研究所の参加ロボットの諸元

Item	Specifications: Partial new model	Specifications: CUBIC-R+
Total Weight	15 Kg	22 Kg
Robot Size (At Home Mode)	420×260×331mm	348×348×270mm
(At Full Spreading Mode)	758×260×220mm	681×681×210mm



(a)部分試作機　　(b)CUBIC-R+

図4 走行会結果のレーダーチャート

２．３　部分試作機の改良点について

2.1節で述べた改良点①のブレーキ制動力の向上は，前述の走行会にて，ブレーキ部の動作が良好なことから，ほぼ問題なく改良できたと考える．消費電力については，大幅に低下させることができた[6]．

クローラユニット単体の走行能力向上については，走行会の階段上り実験において，CUBIC-R+では過負荷によりクローラモータが加熱してしまい冷却が必要であったのに対し，部分試作機ではそのような問題が発生しなかった．このことから，出力向上は有効であったと考える．

また，クローラホイール径を大きくすることによる段差走行能力の向上については，ホイール径を大きくするとクローラの厚みが増すため，階段などの足場の狭い場所の走行[1, 2]では不利になることが判明した．しかしながら，瓦礫のようなランダムな地形においては，クローラユニット単体の段差走行能力が高いため，CUBIC-R+よりも形状変化機構を操作する頻度が少なくなり，操作性は向上した．この問題は相反する課題であるが，遠隔操縦を想定した場合，操作頻度が少ないほうが現実的と考えており，その狙いは達成されたと考える．

なお，改良点③については，運動性能に関係した改良ではないため，ここでは省略する．

３．完全試作機(CUBIC-R2)の製作

前述の部分試作機の評価によって，おおむね機構的な課題は解決されたため，本年度はこの部分試作機を改造し，図5に示す完全試作機CUBIC-R2を製作した．CUBIC-R2の緒元を表3に示す．本章では，完全試作機の概要について述べた後，その基本的不整地走行実験の評価結果について述べる．

３．１　CUBIC-R2の概要

本節では，部分試作機からの変更点に焦点をあてて述べる．このため，その他の機構部についての詳細は，文献[1~5]を参照されたい．

（1）ロボットカバー

これまで開発したロボット(CUBIC-R，CUBIC-R+および部分試作機)において，図1(b)および図2に示すように，ロボット展開時の面上部の電子部品を保護するカバーは

装着されていなかった. 実際に製作/検討することにより, 将来的な耐環境(防塵, 防水等)付加のための知見が得られることは, このような実作業ロボット開発においては, 非常に有意義である. このため, 完全試作機においては, 面上部の電子部品を保護するためのロボットカバーを製作した.

ロボットカバーを図6(a)に示す. ロボットカバーは, 面上に固定されたABS製のカバーベースとカバーベースから脱着可能なFRP製のトップカバーからなる.

また, カバーベースとトップカバーの接合部は, 図6(b)のように2箇所のスナップ錠によりワンタッチで外せるように工夫した.

さらに,周囲面のカバー外周については, 一部透明な樹脂を用いており, 可視光カメラなどで外界を観察できるようにしている.

（２）無線化

これまでの技術調査により, 情報収集を目的としている開発中のロボットは, 通信ラインは無線もしくは有線, 電源ラインはバッテリを搭載した方式が採用されていることが多いことがわかった[6].

通信ラインは, ロボットへのコマンドやロボットが取得した情報をオペレータに伝達する役割を持つ. 無線式の場合, 電波強度の低下やノイズなどの周囲環境によっては, ロボットの誤作動や, ロボットの可視光画像が乱れて操縦が困難になるなどの通信障害を起こす可能性がある. 一方, 有線式においては, このような問題は起きないが, ケーブルの障害物への接触などの抵抗により, ロボットの移動能力を低下させてしまい, 情報収集領域を狭めてしまう可能性がある. このため, このようなケーブルの取り扱い機構についても研究されている[7].

電力ラインは, どのロボットもほとんどがバッテリ駆動式である. これは, 災害後の状況によっては外部電源が確保できない可能性があること, 電源ケーブル外皮がロボットの移動中に摩擦によって擦り切れてしまい短絡してしまう可能性があること, 上述のケーブルの接触による移動能力の低下などが理由と考えられる.

これまで開発してきたロボットは, 通信ラインは有線, 電源ラインは外部電源入力(CUBIC-Rはバッテリ)としていた. CUBIC-R2開発における通信および電源を検討した結果, 電源については上述の理由からバッテリ方式とし, 通信ラインは無線式を想定することにした. 通信ラインを無線式とした理由は, これまでの走行実験により, 全方向移動時にケーブルが絡まる可能性が極めて高いことが判明したからである.

その結果, 通信ラインは小型軽量なSS式無線機であるFRH-SD07T(双葉電子工業㈱)を, バッテリは24V, 3.0Ahの容量を持つニッケル水素バッテリを搭載した. なお, バッテリ容量はロボットが約30分間動作できることを想定した容量である.

なお, ロボットの制御ソフトウエアの開発時には, 通信ライン/電源ともに有線方式のほうが効率的であるため, 有線と無線を両用できるように製作した.

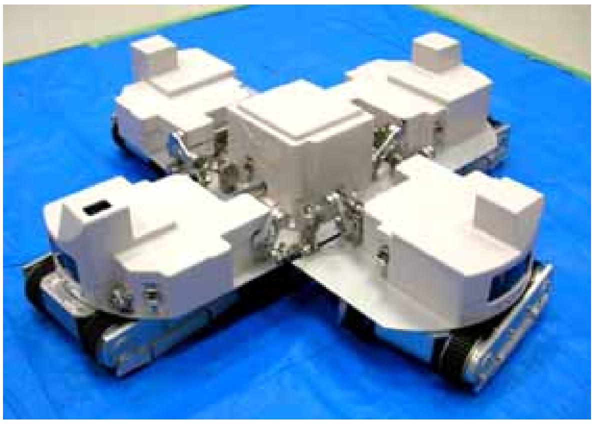
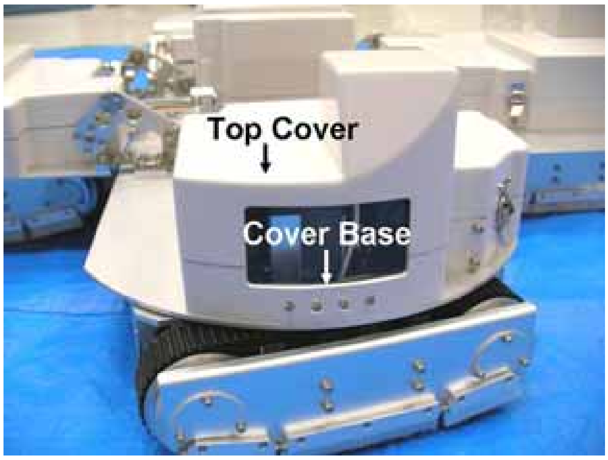


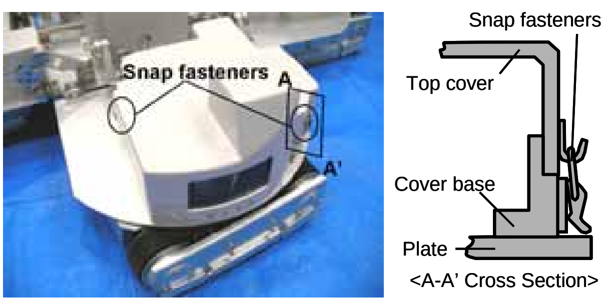
図5 CUBIC-R2

表3 CUBIC-R2の緒元

Item	Specifications	
	CUBIC-R2	CUBIC-R+
Total Weight	30 Kg	22 Kg
Robot Size (At Home Mode)	420×420×332mm	348×348×270mm
(At Full Spreading Mode)	840×840×190mm	681×681×210mm



(a) トップカバーとカバーベース



(b)接合部

図6 ロボットカバー

（3）コントロールコマンドの短縮化

上述の無線化に伴い，ロボットとコントローラPC間のコントロールコマンドの見直しを行った．見直しの理由は，無線化に伴う通信速度と信頼性の低下によりコマンド長を短くする必要がでてきたためである．

これまでのコマンド体系は，PC側がコントローラの入力情報を解析し，該当するロボット動作をさせるように，すべてのロボットアクチュエータへの目標位置等をコマンドデータとして生成し，送信していた[2, 3]．このときの送信間隔とコマンド長は，50msec間隔で84バイトである．そして，ロボットの運動制御コントローラが受信したコマンドデータをRS485経由で各モータコントローラに分配し，その情報をもとに各アクチュエータを動作させていた．参考のため，ロボットのシステムブロック図を図7に示す．

搭載したSS無線機の場合，1回のコマンド送信で成功したとしても54msec程度の時間がかかり，物理的に送受信できないことになる[8]．また，1バイト送受信時にエラーが発生する確率を同程度であると仮定すると，一般的に送受信データ長を短くしたほうが良い．さらに，将来的に遠隔操縦システムを開発するためにも，ロボット情報データ(姿勢，形状等)をPC側で受信できるよう，極力短いコマンドデータにして通信負荷を軽減する必要がある．

このため，コントローラPC側は，コントローラからの入力情報を一定間隔(現状50msec)で取得し，入力情報に変化があった場合のみ，入力情報を圧縮し，14バイトのコマンドデータとして送信する．そして，ロボットの運動制御コントローラは，受信したコマンドデータを解析し，該当するロボット動作をさせるため，各アクチュエータへの目標位置等を生成し，モータコントローラへ分配する方式とした．

その結果，コマンドデータ長14バイトの送信に要する時間は，1回で送受信が成功した場合には約25msecとなり，コマンドデータを従来通り50msec間隔で連続送信したとしても，通信負荷を半分以下に軽減でき，この方式では入力情報に変化があった時のみの送信となるので，さらに負荷を軽減できた．

なお，運動制御コントローラは，新しいコマンドデータを受信しない限り，受信した最新のコマンドデータをモータコントローラに分配し続ける．このため，通信状況によりコマンドデータの一部が欠落する，もしくは複数のデータが繋がっている場合にはロボットが異常動作する可能性がある．そこで，運動制御コントローラにデータの有効判定と修復機能を持たせた．本機能により，運動制御コントローラが無効データと判断した場合には，ロボットの異常動作を避けるため，有効データを受信するまでロボットの動作を停止するようにした．

（4）搭載センサ

ロボットの情報収集活動において，ロボットをより有効に活用するため，主要なセンサを下記のように実装した．

- ロボット位置同定用発信機

  捜索活動中のロボットの位置を同定することにより，被災者の位置や危険区域を推定するシステムを共同研究機関である独立行政法人 消防研究所が研究開発している[9]．この位置同定システムに必要な発信機を図8(a)のように実装した．

- 人体検出センサ

  建物倒壊後の粉塵の堆積により，目視では被災者の判別が困難なケースが米国同時多発テロで報告されている．このため，共同研究機関である独立行政法人 消防研究所が，物体の表面硬さをセンシングすることによって，人体である可能性を判断するセンサを研究開発している[10]．本年度は，本センサをCUBIC-R2に装着できるよう設計変更を加えて製作し，実機にて実装可能であることを確認した(図8(b))．

- 可視光カメラ

  これまでは，仮に設定した前方面にのみ１基のカメラを暫定的に実装していたが，ロボットの特徴である全方向性を利用し，周囲面に各１基，計４基のカメラを搭載し，全周方向の映像を確認可能とした．これにより，ロボット操作時のオペレータの視認性向上が期待できる．

- ３軸傾斜センサ

  ロボットの重力に対する姿勢を確認するため，中央面にピッチおよびロールの2軸，周囲面には形状変

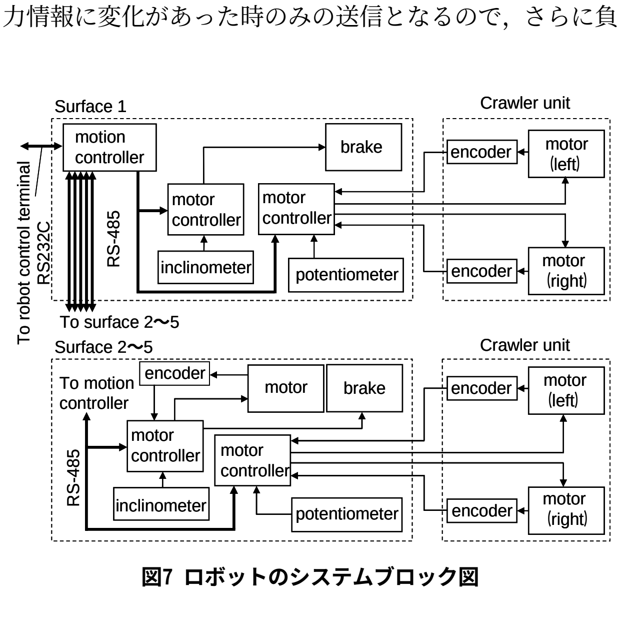
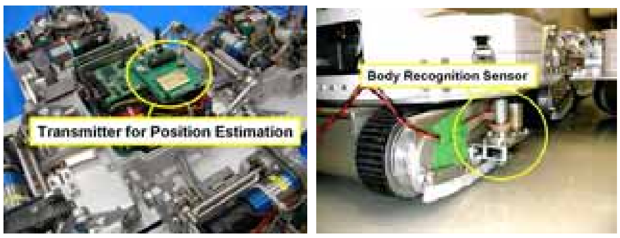


図7 ロボットのシステムブロック図



(a)位置同定用発信機　　(b) 人体検出センサ機構部

図8　消防研究所開発中センサの実装

化機構の回転方向に１軸の傾斜センサを搭載していた．しかしながら，(５)項の実装検討の結果，空間的制約が非常に厳しいため，超小型の３軸傾斜センサ(HAAM-313B, 北陸電気工業㈱)を中央面に実装した．なお，中央面と周囲面との相対角は，形状変化機構のモータエンコーダ値により算出する．

（５）実装の見直し

上述のセンサ類，ロボットカバー，およびバッテリの搭載と，薄型化，機構部強化等のため，実装部品の配置をすべて見直し，3次元CAD等を用いて検討した．この結果，CUBIC-R+の展開時におけるロボット高さ210mmに対し，CUBIC－R2では190mmに薄型化できた．

ロボットを薄型化することは，より低い開口部への進入が可能になることを意味する．

３．２　CUBIC-R2の評価

製作したCUBIC-R2を用いて基本不整地の走行実験[1～3]を当研究所にて行った．表4にその結果と，比較のため，CUBIC-R+の実験結果を示す．表4は，斜面上り以外はすべてコンクリートブロックを用いている点と，階段の1段の高さが表1と異なる．また，斜面横断は実験機材がないため実施していないが，ギャップの横断を実施している．

表3に示すようにCUBIC-R2のロボットサイズが大きいため，段差やギャップにおいては，CUBIC-R+よりも能力は高い．なお，表1の段差のぼりよりも結果が良くないのは，段差がコンクリートブロック製であるため，その粉塵により，木材よりもクローラと路面の摩擦が小さく，すべってしまい，駆動力が路面に伝達しづらいことが一因と考えられる．

斜面上りの結果は同程度であるが，斜面の幅がロボットサイズに比べて小さいため，CUBIC-R2では実質4面接地で実験を行っている．5面接地で行った場合には，これ以上の斜度も登坂できる可能性がある．

階段上りについては，CUBIC-R2のほうが劣る結果となった．この形態のロボットは，現状では一段ずつ登る戦略をとるため[1]，ロボットサイズが大きいと相対的に一段の足場(踏み面)が小さくなるためである．したがって，踏み面が約260mm以上の階段でなければ，現在の移動戦略では移動できない．

しかしながら，JRや地下鉄などの階段の標準寸法は，1段の高さが165mm以下，踏み面は300mm以上[6]であることを考えると公共施設内での階段は移動可能であり，一般的な家屋のバリアフリーの階段寸法は，高さ180mm，踏み面260mm程度であるため，上記環境であれば移動することは可能である．

表4　基本不整地走行実験の結果

Item	Result	
	CUBIC-R2	CUBIC-R+
Going up a slope	Inclination 37 degrees	37 degrees
Traversing a step	Height 280 mm	240 mm
Traversing the stairs	Angle of flight 32 degrees (rise 160 mm, tread 260 mm)	35 degrees (rise 160 mm, tread 230 mm)
Traversing across a gap	Width 400 mm	350 mm

最後に，これらの基本不整地の実験結果が，そのまま不整地における走行能力とはならないことに注意するべきである．走行能力は，大地震後に生成されるランダムな不整地に対するロバストな走行能力，方向転換能力などにも大きく依存するからである．我々は，ランダムな瓦礫上の走行実験を行い，CUBIC-R2の移動能力がCUBIC-R+のそれよりも大きく改善されていることを確認した．

４．おわりに

本報告では，これまで開発してきたCUBIC-R+の機構的課題をもつ部位に改良を加えた部分試作機を評価し,それらの課題が解決されたことをおおむね確認した．また,本結果をもとにロボット上部を保護するためのトップカバー等の改良を加えたCUBIC-R2を製作し評価した．

この結果,耐環境性には課題が残されているが,移動メカニズムとしての移動機構は完成したと考える．

今後の方針としては，遠隔操縦のインターフェースの開発を行う．このための接地判定手法,ロボット制御手法,ならびに情報提示手法の検討を行う予定である．

謝　辞

本研究の一部は文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環としてなされたものである．

文　献

[1] K.Tabata, A.Inaba, Q.Zhang, H.Amano, Development of a Transformational Mobile Robot to Search Victims under Debris and Rubbles, Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and System (IROS2004), pp.46-51, 2004.

[2] K.Tabata, A.Inaba, H.Amano, Development of a Transformational Mobile Robot to Search Victims under Debris and Rubble-2nd report: Improvement of Mechanism and Interface-, Proc. of IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2005), pp.19-24, 2005.

[3] 田畑，稲葉,天野，不整地走行用全方向移動システムの開発，計測自動制御学会(SICE)論文集　第41巻, No.12, pp.998-1004 , 2005.

[4] 田畑，稲葉，天野，情報収集(被災者捜索)ロボットの移動機構のハードウェアの改良，岐阜県生産情報技術研究所研究報告 第6号, pp.41-44, 2005.

[5] 田畑,稲葉,今井,光井,天野,鈴木，形状変化機構を有する多面体移動機構の開発-第4報:機構改良-，第6回計

測自動制御学会ｼｽﾃﾑｲﾝﾃｸﾞﾚｰｼｮﾝ部門講演会予稿集(CD-ROM), pp.329-330, 2005.
[6] 独立行政法人 消防研究所, 検知・探査災害対策用ロボットの性能試験および評価に関する報告書, 平成17年3月.
[7] 新井,田中,広瀬, 球形トレーラの開発-第2報 リール機構への応用とケーブル平行巻機構-, 第6回計測自動制御学会ｼｽﾃﾑｲﾝﾃｸﾞﾚｰｼｮﾝ部門講演会予稿集(CD-ROM), pp.333-334, 2005.
[8] 双葉電子工業㈱, 取扱説明書 双方向無線データ通信モデム FRH-SD07T 第4版.
[9] 天野, 鈴木, 稲葉, 田畑, 電波を利用したロボット位置同定の可能性に関する実験的研究, 第22回日本ロボット学会学術講演会予稿集(CD-ROM), 3A23, 2004.
[10] 鈴木, 天野, 稲葉, 田畑, 物体の表面硬さを利用した人体認識センサの開発,第6回計測自動制御学会ｼｽﾃﾑｲﾝﾃｸﾞﾚｰｼｮﾝ部門講演会予稿集(CD-ROM), pp.307-308, 2005.

県内福祉施設で使用可能な支援機器の調査

－高齢者を支援するシステム（機器）に関する研究－

今井 智彦　　千原 健司　　稲葉 昭夫

久冨 茂樹*　　飯田 佳弘*

Research of Support Equipment to be available in Welfare Facility

- System Design to support Welfare for the Aged -

Tomohiko IMAI　Kenji CHIHARA　Akio INABA

Shigeki KUDOMI*　Yoshihiro IIDA*

あらまし　現在，高齢者の自立を支援したり，介護者の負担を軽減したりすることができるシステム（機器）が期待されていることから，ロボット技術を応用し，その開発を目指している．本報告では，その一環として行った県内福祉関連施設におけるニーズ調査について述べる．また，新たに発足した研究会を通じて開発に着手したマニピュレータ付き高機能電動車いすの概要について述べる．

キーワード　福祉，高齢者，障害者，支援機器，施設調査

１．まえがき

高齢社会を迎えた現在，すべての県民が健やかに心豊かな生活を送れるよう目指した総合福祉施策の一環として，高齢者の方や障害を持つ方を支援することができるシステム（機器）の開発が期待されている．そのため，本研究所では蓄積されたロボット技術を応用し，高齢者等の自立を支援したり，介護者の負担を軽減したりすることができるロボットの開発を目指している．本報告では，その一環として行った県内福祉関連施設におけるニーズ調査について述べる．また，新たに発足した研究会を通じて開発に着手した支援機器の概要について述べる．

２．支援機器のニーズ調査

平成16年10月より2ヶ月間，県内の福祉関連施設に赴き，現場においてシステム（機器）による支援が望まれる活動や場面について聞き取り調査を行った．聞き取りは，施設職員など介護する側の方に対して自由回答形式で行った，自由回答形式にしたのは，研究開発が可能であるかを問わず，ニーズ全般を把握したいと考えたためである．以下に調査した施設の種別を示す．

- ・特別養護老人ホーム
- ・ケアハウス
- ・グループホーム
- ・ショートステイ
- ・デイサービス
- ・在宅介護支援センター
- ・介護実習・普及センター（現：福祉総合相談センター）

聞き取り調査にて得られた意見は以下のように分類した[1～4]．まず，高齢者の自立を支援するものか，または介護者の負担を軽減するものかに分けた．次に，自立については，高齢者に対して物理的な支援を行うものか，精神面の支援を行うものかに分けた．また，介護についても同様に,介護者に対して直接的な支援を行うものか,間接的に支援するものかに分けた．そして，各項目に該当する意見を場面毎に整理した（表1参照）．

それら意見には，すでに商品化されたものをそのまま使用もしくは修正すれば対応できるものから，新規に開発する必要があるものまであった．商品化されている機器の多くは，福祉関連の法律により補助対象となっており，今後も企業が継続して開発を進めていくと考えられる．そのため，我々としては，市場性等を考えたとき企業としては取り組みにくいが，調査において切実なニーズがある要望に応えていくことを考えた．ここでは，新規開発が必要と考える項目に番号を付け，それらについて以下に説明する．

＊ 科学技術振興センター

表1　ニーズの整理

項目	方向	場面	番号
自立支援	物理的	移動	
		操作	（1）
		就寝	
		食事	
		掃除	
	精神的	コミュニケーション	
		レクリエーション	
		リハビリテーション	
介護支援	直接的	移動	（2）
		就寝	
		看視（見守り）	（3）
	間接的	訓練	
		用具選定	
		住宅改修	

（1）自立－物理的－操作

この中には，①入力デバイスが自分に合っていない，②家電製品を簡単に操作できない，③床に落とした物を自分で拾うことが困難，というものがあった．①，②については，現在様々な形式のスイッチや，それを用いて家電製品の操作が可能な環境制御装置が各種販売されているので，それらを利用することで，問題を解消することが可能である．③についても，身体機能に応じて現在ある機器・用具を用いれば，ある程度問題を解消することができる．例えば，昇降機能付きの椅子に座り，座面を床面まで下げ，把持用具を用いることで，物を拾うことができる. また, マジックハンドを使うこともできる．しかし，それでもできない方のために，マニピュレータを用いることが考えられる．現在国内ではそのような用途のマニピュレータは実用化されておらず，開発を進めることは有効であると考える．

（2）介護－直接的－移動

調査した福祉施設の職員から必ず意見として出るのが, 場面毎の移乗についてであった．ベッドから車いす，車いすからトイレなど，入所者を移動させるとき，現在は入所者を抱えて移動させている．そのため，腰や手首に負担がかかり，介護者の身体を痛めることが多々あるとのことだった．移乗用の機器として，すでにリフトがあり使用されている．しかし，リフトを設置して移乗の準備をするのに手間がかかるため，結局のところ人手で行っているという意見もあった．介護者の身体に簡単に装着でき，動作をアシストする機器があれば役立つのではないかという意見はあり，すでに他機関にて研究[5]が進められているので，今後の動向に注目したい．

（3）介護－直接的－看視（見守り）

施設では，職員が定期的に巡回を行い，入所者の状態を把握している．また，施設の要所（屋外への出入口など）には監視カメラを取り付け，入所者の危険行動などを監視している．しかし，入所者の個室については，プライバシーの問題から特別な場合を除き，監視カメラを取り付けることができない. そのため, 個室内で異常（例えば，ベッドからの転落や転倒）が起こっても，その発見が困難である．そこで，職員による巡回を補完し，入所者の異常を早期発見できるように，各部屋の様子を見てまわる機器（看視ロボット）があるといいのではないかという意見があった．その機器は現在実用化されている警備ロボット[6]に近いものではあるが，見守りという観点から検討し，それに適した機能を持っている必要がある．例えば，巡回中に転倒している入所者を発見した際，施設職員に通知するのは警備と同様であるが，同時に入所者への声かけなどが必要であると考える．

３．支援機器の概要

３．１　研究会の発足

前節で述べた調査結果を踏まえ，どのような支援機器を開発するべきかを検討するため,「産」「学」「官」および「ユーザ」により構成される研究会を発足した．そのメンバーに「ユーザ」を加えているのは，福祉機器を開発する場合，開発当初からユーザの意見を反映させないとユーザにとって本当に役立つ機器とはならないと広く言われているためである．

３．２　開発テーマの選定

研究会において，調査により得られたニーズと研究会メンバーが有する技術とのマッチングを図り，商品化の見通しも踏まえて，開発テーマの検討を行った．その結果, “ 床に落とした物を自分で拾う ”というニーズなどに対応できる「安全なマニピュレータ」と「操作しやすいモニタ」を有する高機能電動車いすの研究開発を行うこととした．類似する既存製品は，日本国内では見当たらないが，海外ではMANUS（蘭Exact Dynamics社），Raptor（米Rehabilitation Technologies社）があるものの，普及には至っていない. その原因には①価格が高い, ②大きい・重い，③操作が難しい，④安全性に不安，という点が考えられる．今回はそれらの問題点を改善し，国内での商品化を目指して開発を行う．また，対象ユーザを四肢が不自由な重度障害者の方に設定した．これは，岐阜県障害者支援プラン（H17.3策定）の「極めて重度の障害者に対する支援が必要である」という基本的な考え方に基づいている．

３．３　アンケート調査

選定した開発テーマが妥当であるかを評価するため, 平成17年5月に, 県内の福祉関連機関の協力の下, 障害者の方々へのアンケート調査を実施した．アンケートは, 主に5段階評価とし, 一部自由回答形式とした. その項目は，これまでの調査や研究会メンバーの意見を参考に定めた．

図1にアンケート結果を示す. 頚髄損傷, 筋ジストロフィの方など対象ユーザと考える48名に郵送したところ，

28名から回答をいただいた（図1(a)）．まず，前節で述べた高機能電動車いすへの期待度を尋ねたところ，85%の方が期待されており，実用化への要望が強いことが確認できた（図1(b)）．次に，その電動車いすを使用して行いたい動作について尋ねたところ，“ 棚や床のものを取る ” の他に “ 部屋の開き戸を開ける ”, “ 体や顔をかく ” といった動作が所望されていることがわかった（図1(c)）．また，日常生活の中で，介助者に頼むことを遠慮してしまうような些細なことを自分で行えるようになれば良いとの意見も多数見受けられた．

３．４　開発機器の仕様概要

アンケート調査により得られたデータを踏まえ，開発する高機能電動車いすの仕様を検討した．その概要を以下に示す．また，図2にその活用イメージを示す．

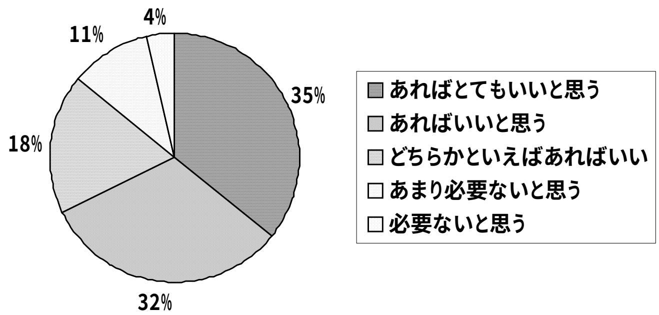
（1）実装する機能

アンケート結果で要望の高かった機能のうち，既存の福祉用具で対応可能な機能を省き，以下に示す機能を実装する．

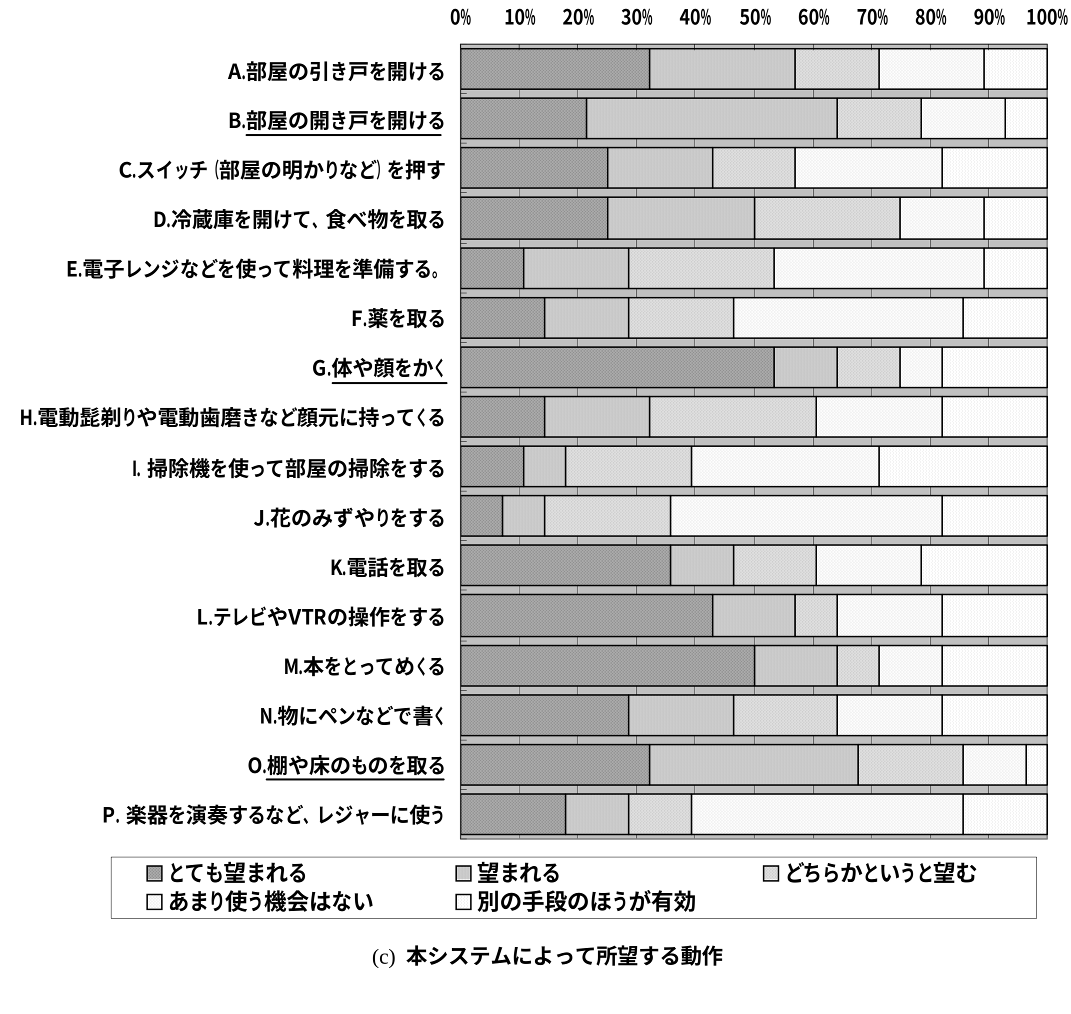
年齢別	回答数
10 代	2
20 代	1
30 代	7
40 代	10
50 代	5
60 代	3
合計	28

性別	回答数
男性	23
女性	5
合計	28

(a) **有効回答数**



(b) **本システムに対する期待**



(c) **本システムによって所望する動作**

図1　アンケート結果

・棚や床のものを取る
・カーテンなどを開ける
・顔や頭を掻く
・赤外線リモコンに対応した家電製品を操作する

（2）開発費の低減

商品化する際に価格を安くするためには，いかにマニピュレータを低コストで開発するかに係っている．そこで，前述の機能を最低限満たすことができる自由度と強度を持ったシンプルな構造を検討する．リンク構成は，床面に対して水平方向はスカラ型，上下方向は直動型とする予定である．

（3）機器の軽量化

マニピュレータをシンプルな構造にすることによりその重量を低減するとともに，電動車いす本体についてもマウントが容易に行えるように設計するなどして，高機能車いす全体の軽量化を図る．

（4）操作性の向上

マニピュレータのリンク構成を単純化することにより，操作可能な方向が制限されるため，操作する際にその移動方向が直感的にわかりやすくなる．また，移動方向が制限されるので，電動車いすの操作に用いられるジョイステック等によるマニピュレータ操作が可能となり，入力機器の共通化を図れる．さらに，操作を支援する画面やシステム状態を表示するモニタを搭載することにより操作性を向上させる．

（5）安全性の確保

万が一，ユーザや周囲にいる人々に接触した際に怪我をさせないため，マニピュレータの外装にやわらかい素材を使用したり，その関節に外力を打ち消すようなパッシブな機構を適用したりするなど，マニピュレータに多重の安全対策を施す．

4．まとめ

本報告では，高齢者を支援するシステム（機器）に関する研究の一環として行った県内福祉関連施設におけるニーズ調査について述べた．また，新たに発足した研究会を通じて開発に着手したマニピュレータ付き高機能電動車いすの概要について述べた．

謝　辞

本研究の遂行にあたり，施設調査およびアンケート調査にご協力いただいた方々に深く感謝の意を表します．

文　献

[1] （財）テクノエイド協会，http://www.techno-aids.or.jp/
[2] 福祉用具情報システム（TAIS）利用の手引き，（財）テクノエイド協会，2004.
[3] 福祉用具・住宅改修研修資料，岐阜県介護実習・普及センター，2005.
[4] 手嶋教之ら，福祉ロボット一問一答，http://www.ritsumei.ac.jp/se/~tejima/reharobo-j.html
[5] 小林宏ら，マッスルスーツの開発（上肢７動作の実現），日本機械学会ロボティクス･メカトロニクス講演会'04講演論文集，2P2-H-58, 2004.
[6] 例えば，ALSOK，ガードロボC4，http://www.alsok.co.jp/r_d/C4.html

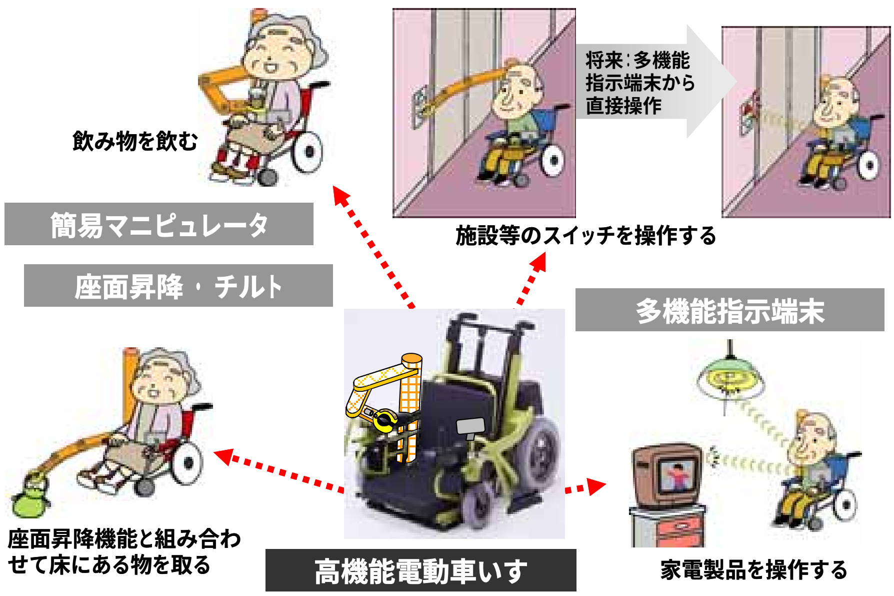


図2　高機能電動車いすの活用イメージ

案内ロボットの開発（第2報）

西嶋　隆　　小川　行宏　　山田　俊郎　　今井　智彦

田中　泰斗　　千原　健司　　稲葉　昭夫

Development of a Guide Robot (2nd report)

Takashi NISHIJIMA　Yukihiro OGAWA　Toshio YAMADA　Tomohiko IMAI
Taito TANAKA　Kenji CHIHARA　Akio INABA

あらまし　実用的な民生用ロボットとして，県内施設のサイエンスワールド（岐阜県先端科学技術体験センター）に設置する案内ロボットを開発している．本ロボットの設置目的は，施設案内の他に，来館者である学童・生徒にロボットとインタラクティブな体験を行う場を提供することにより，メカトロニクスをはじめとする科学技術に興味を持たせるという教育的側面が挙げられる．本年度は，このロボットの要求仕様に基づいてロボットの外装作成およびシステム設計を行った．

キーワード　民生用ロボット，案内ロボット

１．緒言

民生用ロボットは，福祉・サービス・エンタテイメント分野等での利用が期待されており，現在では，実用的な民生用ロボットも開発されてきている[1]．昨年開催された愛・地球博においても，数多くの民生用ロボットが出展され，広く一般に認知されてきた．

本開発では，施設内で運用する案内ロボットの開発を行っている．平成16年度には無線ICタグを利用し，施設内を自走しながら店舗案内を行う自走型案内ロボットを開発し[2]，JR岐阜駅ACTIVE-G内の実環境で10日間に亘り運用試験を行った．この実験では，技術的な側面のみならず, ロボットの安全面･運用面に関する知見を得た．

本年度は前年度の案内ロボットの開発や当研究所で開発した二足歩行ロボット“ながら－３”で蓄積したロボット技術を応用し，実用的な民生用ロボットとして，サイエンスワールド（岐阜県先端科学技術体験センター：瑞浪市）に設置する案内ロボットを開発している．本ロボットの設置目的は，施設案内の他に，来館者である学童・生徒にロボットとインタラクティブな体験を行う場を提供することにより，メカトロニクスをはじめとする科学技術に興味を抱かせるという教育的側面が挙げられる．本報では，このロボットの仕様，外装，システム構成について報告する．

２．ロボットへの要求事項

サイエンスワールドに設置するロボットの主な要求事項をサイエンスワールド施設職員等と協議して検討した．その内容について以下に列挙する．

本ロボットは，基本機能として，施設案内・メカトロニクス教育を行う. 静展示物としてのロボットではなく，体験型のロボットとするため，来館者の声に反応する，来館者の顔を認識するなどのインタラクティブな機能が必要である．たとえば，科学技術クイズなどエンタテイメント性の高い内容のコンテンツがよい．

ロボットの移動や常設展示時以外のイベントでの利用を考え，ロボット台車の遠隔操作機能が必要である．

ロボットの外観は，学童・生徒（来館者）が親しみの持てるようなデザインが必要であり，マスコット的なものがよい．全体的に丸みを帯び，可愛らしいデザインが望ましい．

安全性に関しては，来館者の約６割が小中学生であるため，サイズは小学生低学年の児童にも，恐怖感を与えず，親しみが持てるよう，身長１m位とし，転倒しにくく，軽い素材で製作する必要がある．来館者と直接接する機会が多いため，衝突する危険を回避するために常設展示時はロボットの頭や腕のみの動作とし，ロボット全体は移動させない．ロボットの腕は動作時の安全を確保する必要があり，人と衝突したら過負荷等を検出して，モータを自動停止するなどの仕組みが必要である. また, 首の可動部は手が届きやすい位置となるため，指の巻き込みを防止する機構が必要である．

運用面に関しては，職員がロボットを常時操作するようなシステムは実用的でないため，起動時以外は自動で動作する必要がある．ロボットが行う案内・教育・科学クイズに関するコンテンツは，頻繁に内容を変更する必要があるため，コンテンツが容易に変更可能なシステム

が必要である．また，電源の突発的な遮断等によるシステム故障を防ぐ仕組みが必要である．

３．ロボットの概要

ロボットへの要求事項に基づいて検討した，機能，動作概要，外装デザイン，安全対策，について記す．

３．１　機能

ロボットの機能は，1)施設案内，2)メカトロニクス教育，3)科学クイズの３つとした．ロボットの背後には大型液晶モニタを設置し，モニタには案内・教育・クイズに関するコンテンツ画像やロボットが認識しているカメラ画像を提示する．

施設案内の機能は，営業案内，行事・イベント，施設設備などを案内し，メカトロニクス教育の機能はロボットに搭載されるような機械要素類・センサ類・モータ類などを画像と音声で解説する．科学クイズ機能は，ロボットからの選択式の設問に対し，来館者が回答する．

ロボットへの入力はカメラ画像，音声，無線ICタグ，レーザレンジファインダを用い，出力として発話機能，画像表示，ロボット動作（腕，首），LEDイルミネーションとした．

３．２　動作概要

ロボットの動作概要について以下に述べる．ロボットの前方足元に搭載するレーザレンジファインダで来館者の接近を検知し，その方角・距離を計測する．計測した情報に基づきロボット頭部を動作させ，ロボット顔面のCCDカメラで来館者の顔部分を認識する．この認識画像をロボット背後の大型液晶モニタに提示することで，来館者はロボットが自分を認識していることがわかる．来館者がロボットにさらに接近すると，ロボットから３つの機能の選択を音声･画像を用いて来館者に問いかける．これに対し来館者は，モニタに表示されているコンテンツを選択する．選択肢をロボットに入力する方法は，選択番号や単語を音声または，それら選択肢が記された無線ICタグ入りのカードをロボットにかざすことで行う．音声認識は不特定話者で雑音の多い環境下においては良好でない場合が多くなると見込まれるため，確実に選択できる方法として無線ICタグ入りの選択カードを用意する．

ロボットの腕は肩部分で２自由度を有し,腕を上げる，振るなどの動作が可能で，ジェスチャによる表情表出を行う．胸部分のLEDは発光パターンを随時変化させ，ロボットの内部状態に応じた表情表出を行う．

３．３　外装デザイン

ロボットの外装デザインを図１に示す．全体的に丸みを帯び，親しみやすいデザインとした．このデザインでは頭部を大きくすることで可愛らしさを表出している，色は青・アイボリーを基調とし，施設内装に多用されている黄色をアクセントとして部分的に用い，設置場所とのマッチングを図った．

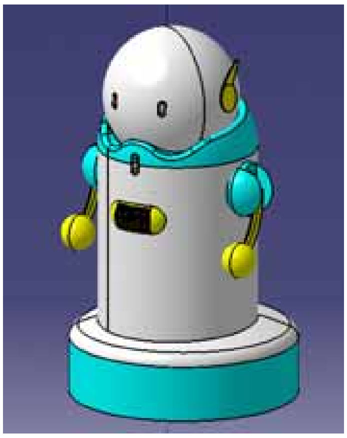


図1　ロボット外装デザイン

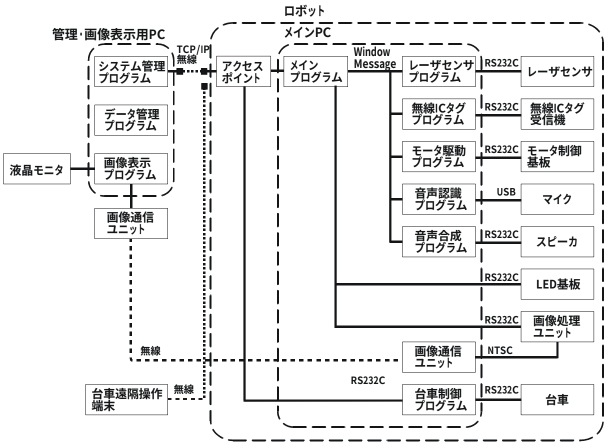


図2　システム構成のブロック図

３．４　安全対策

外装に関して，ロボットの高さは１mとし，小学生に対して圧迫感を与えない程度の高さとした．腕の先端部分は球形のスポンジ素材を用いることで，安全性を高めた．首部分は頭部を胴体部に沈め込み，指の挟み込みが発生しにくい構造とした．頭部と胴体部のクリアランスは微調整可能である．各関節を駆動するサーボーモータには電流センサを設け，過負荷時の過電流を検出しモータ動力を停止する機能を組み込む．

上述した頭部と胴体部のクリアランスの微調整や過負荷検出のための電流センサの閾値については，今後，実機を用いて安全な範囲を検証することが課題である．

４．ロボットシステムの設計

システム構成のブロック図を図2に示す．システムはロボット本体と外部の管理･画像処理用PCに分かれている．それぞれは無線LANで通信する．

４．１　管理・画像処理用PCの役割

このPCではシステム管理プログラム, 画像表示プログラム，データ管理プログラムが動作する．

画像表示プログラムは接続されている液晶モニタに案

内の情報やクイズの提示等を行う．データ管理プログラムは，コンテンツの変更作業及びデータ管理を行う．制作されたコンテンツは，このPC上に保存される．システム管理プログラムは，システムの起動，ロボット側の内部状態をモニタする．システムの起動時には，データ管理プログラムから受け取ったデータをロボットシステムに送信する．また，ロボットシステムのプログラム統合開発時のデバッグ用モニタ機能を果たす．

４．２　ロボットシステム

システムのOSにはWindowsXPを用いる．ハードディスクを用いずシステムをROM化し, 電源の遮断に対する耐久性を確保する．メインプログラムはロボットの状態遷移を管理し，各種センサ類，モータ駆動を制御するプログラムと通信する．画像処理・音声合成・無線IC・レーザセンサプログラムは，ながら－３の開発で得た要素技術やActive-Gで運用実験をした案内ロボット開発による要素技術を応用する．

台車遠隔操作端末は，無線LANを用いて，ロボットシステム内のアクセスポイントを経由してロボットシステムとの通信を行う．ロボット台車の遠隔操作は，ロボットの移動時や常設展示以外のイベントで用いられるため, 管理・画像処理用PCが起動しておらずロボットシステムのみが起動している状態でも遠隔操作可能なシステムとした．

５．結言

実用的な民生用ロボットとして，サイエンスワールド案内ロボットの機能の検討，外装作成，システム設計を行った．今後は設計に基づいたハードウエア・ソフトウエアの開発を行い，平成18年度中にサイエンスワールドでの運用を計画している．

文　献

[1] 例えば，下笹洋一,“ 警備ロボットビジネス ”，日本ロボット学会誌，pp.692-695,2002

[2] 西嶋隆，山田俊郎，小川行宏，今井智彦，稲葉昭夫，大野尚則,“ 案内ロボットの開発 ”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告, pp.51-55,2005

入場券を利用した案内ロボットの実演

山田　俊郎　　小川　行宏　　西嶋　隆　　今井　智彦　　稲葉　昭夫

Demonstration of Ticket Driven Guide Robot

Toshio YAMADA　Yukihiro OGAWA　Takashi NISHIJIMA　Tomohiko IMAI　Akio INABA

あらまし　岐阜県ではロボット関連技術の県内企業への蓄積を目指し，多様なロボットの開発を進めている．本報では，2005年日本国際博覧会(以下，愛称の「愛・地球博」と記述)の中部9県による共同出展パビリオン「中部千年共生村」に出展した案内ロボットのシステム構成と常設展示について報告する．案内ロボットは，来館者の入場券に組み込まれた無線ICタグの情報を読み取り，入場券の種別や番号によって様々な岐阜県案内のメッセージを提示するものである．

キーワード　無線ICタグ(RFID)，音声案内，デモンストレーション

1．はじめに

岐阜県では，ロボット技術をキーテクノロジーとした産業振興施策「ギフ・ロボット・プロジェクト21(GRP21)」を推進しており，これまでに多様なロボットを開発している．案内ロボットは平成16年度に岐阜駅前の商業施設「Active-G」内を自律的に巡回し，音声メッセージで店舗の案内を行うロボットとして開発した[1,2]．今年度，愛・地球博の中部千年共生村に出展するにあたり，機能の見直しを行い，次の仕様のロボットとして展示することとした．

- 展示スペースおよび安全性を考慮し，据え置き型のロボットとする．
- 来場者とのインタラクティブ性を持たせる．
- 中部千年共生村の岐阜県ブース展示にふさわしいコンテンツとする．

以上のことから，本来持っていた機能のうち可動部である移動機能および首振り機能を停止させ，不必要となったセンサ類を取り外した．来場者とのインタラクションには博覧会の入場券を利用することとした．入場券には無線ICタグが組み込まれており，これによってロボットに動作開始を知らせるトリガとすることができる．また，無線ICタグの情報から入場券の種別や番号を一意に決定することができ，来場者一人一人に応じた案内メッセージの提示が可能となる．来場者が自分の入場券に反応したメッセージを受け取ることで，ロボットにより関心を持ってもらえることが期待できる．提示するメッセージ内容は占いを模した形式で岐阜県の観光や物産の案内を行うものとした．来場者による案内ロボット利用の様子を図1に示す．



図1　案内ロボット利用の様子

本報では，愛・地球博展示バージョンの案内ロボットのシステム構成と展示によって得られた知見について報告する．

2．案内ロボットシステムの概要

案内ロボットは5月16日に中部千年共生村に出展し，会期終了までの133日間稼動した．出展当初は音声案内のみによるメッセージの提示であったが，周囲の雑音のため音声が聞き取りづらいこと，音量を大きくするとロボットの内部に反響してこもった音になることなどから，音声案内を補完する手段が求められた．そのため，6月24日にロボット頭部に小型の液晶モニタを取り付け，画像によるメッセージ表示を併用することとした．また，利用者情報を記録する機能も8月9日より追加している．

ロボットのシステム構成を図2に示す．無線ICタグリーダはロボット頭部の内側に設置し，来場者はロボットの頭部に入場券をかざすことでロボットに自分の入場券の情報を与える．ここで案内ロボットは無線ICタグの情報を得るが，この情報は入場券番号とは異なり，意味を持たないランダムな数字であるため，この情報だけで券の種別を判断することはできない．無線ICタグの情報から

入場券番号へ変換するためには，博覧会協会が提供している変換テーブルを用いる必要がある．変換テーブルはすべての入場券の番号と無線ICタグ情報とを関連付けたものであり，そのレコード総数はロボット設置当初で1,9000万件であり，その後入場券の増刷とともに追加され，会期終了時には2,500万件と，膨大な数である．本システムでは,この変換テーブルをMySQLサーバでデータベース管理した．通常のデータベース検索では入場券番号の検索に10秒以上かかり，インタラクティブな利用に耐えられないものであったが、高速検索用の索引を作成することで,検索時間が1秒程に短縮でき，インタラクティブ性が確保できた．

入場券の券番号は全体で12桁の数字であり,上2桁が券の種別を，下8桁が通し番号である(3桁目と4桁目は仕様未公開).提示するメッセージはまず子供券とそれ以外の場合で分け，次に通し番号を20で割った剰余でメッセージ番号を決定する．つまり，全40種類のメッセージから提示する内容が決定される．家族やグループの来場者は入場券番号が連番であると想定できるため，このような方法を取ることで同じメッセージを連続して提示することを防ぐことができる.また,メッセージ内容が図3に示すような占いを模した形式であるため，全期間入場券を利用するリピーターには毎回同じメッセージを提示し，ランダムではない制御を行っていることを示すことができた．これらメッセージの選択は制御アプリによって行われ，画像表示アプリ・音声再生アプリにコマンドを送るとともに、同一の入場券による連続再生の防止と来場者記録の作成を行なった．

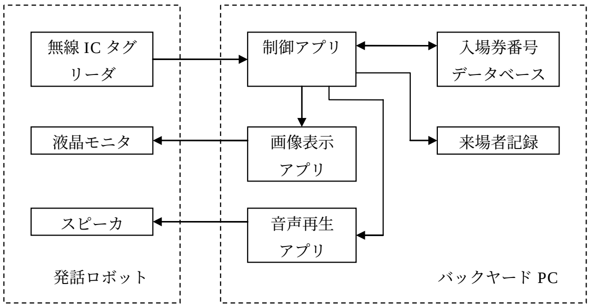


図2　案内ロボットシステムの構成

音声メッセージ：
あなたのラッキースポットは温泉です．
岐阜県には日本三大銘泉の下呂温泉，お湯の豊富な奥飛騨温泉郷など，温泉がいっぱいありますよ．



図3　提示メッセージの例

３．常設展示における利用結果

会期を通して子供から高齢者までさまざまな人が案内ロボットに接したが，動作が停止する致命的なトラブルは設置当初の1回だけであり,安定した展示ができたといえる.記録をとり始めてからの利用者の推移を図4に示す.1日平均で約1,600人の利用となっており，中部千年共生村の入場者数の約25%である．平均値をもとに展示期間中(133日間)ののべ利用者数を推定すると約21万人であり，これらの数字から来館者のロボットに対する関心の高さが覗える．券種別では子供券の利用が約33%であり，愛･地球博全体の入場者に占める子供の割合よりも高い．これらの結果から，ロボットは多くの人々，特に子供に受け入れられやすい展示であることが確認できた．

４．まとめ

無線ICタグが埋め込まれた入場券を利用した案内ロボットの展示システムや常設展示の利用結果について述べた．広く一般の利用者に接した展示を通してロボットに対する様々な反応や意見を得ることができ，産業振興の面だけにとらわれることなく，広く一般にロボット技術を通した科学技術の振興，教育など公共的な意義のある役割を果たしたと考えられる．

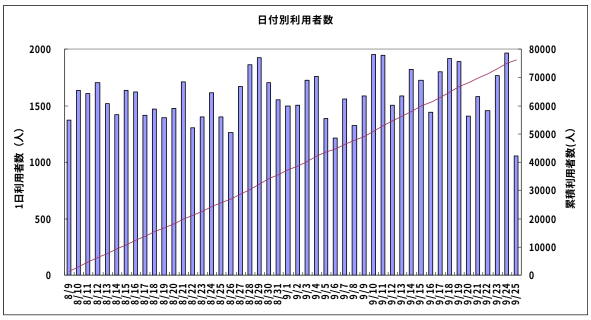


図4　日付別案内ロボット利用者数と累計の推移

文　献

[1] 西嶋隆，山田俊郎，小川行宏，今井智彦，稲葉昭夫，大野尚則，“ 案内ロボットの開発 ”，岐阜県生産情報技術研究所報告No6，pp.51-55，2005．
[2] 西嶋隆，山田俊郎，小川行宏，今井智彦，稲葉昭夫，“ 移動型案内ロボットの開発 ”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2005 予稿集CD-ROM，2005．

ロボット関節用静電クラッチのインピーダンス制御

西嶋　隆　　山本晃生*　　樋口俊郎*　　稲葉　昭夫

Impedance Control of Electrostatic Clutch for Robotic Joints

Takashi NISHIJIMA　Akio YAMAMOTO　Toshiro HIGUCHI　Akio INABA

あらまし　ロボットマニピュレータの衝突安全性の確保のために，回転型静電モータを用いて，様々な機械的インピーダンスを実現する静電クラッチを開発した．従来研究において本静電クラッチは，保持力を印加電圧によって制御可能であり，過大な外力を空転することで逃がすことが可能なことや，静電気力を発生する駆動用電極を用いたビルトインエンコーダによって空転時の回転角度を検出できることが確認されている．本研究では，回転型静電モータを用いた静電クラッチを軸トルク情報から回転位置制御することで，様々な機械的インピーダンスを実現可能となった．同時にビルトインエンコーダを用いて静電モータ駆動時の回転角度の検出を試みたので報告する．

キーワード　静電気力，静電アクチュエータ，静電クラッチ，衝突安全性

１．緒言

民生用ロボットの開発において，ロボットマニピュレータと人との衝突安全性の確保は重要な課題である．この課題は，ロボットマニピュレータに，適切な機械的インピーダンスを付加する方法で対処することができる．この方法は大きく二つに分類でき，一つは，ロボットマニピュレータにばね・ダンパ系の機械要素を直接取り付ける受動的な方法[1]，もう一つは，各種センサ情報からアクチュエータを駆動し，ばね・ダンパ要素が付加されたように制御する，能動的な方法が知られている．前者は，計算機が不要で，衝突等による急峻な入力に対する応答が優れているといえるが，機械的特性は機械要素によって決定する．後者は機械的特性を計算機によって変更可能である点や機械要素が必要でない点が長所であるが，計算の時間が必要で急峻な入力に適切な応答ができなくなる短所がある．

受動的な方法という観点から筆者らは，従来，両電極交流駆動形静電モータ[2]をロボットマニピュレータのクラッチとして応用することを提案した．この静電クラッチは保持力を印加電圧で制御可能で，外力が最大保持力を超えると受動的にクラッチが空回りし，過大な外力を逃がす機能がある．また，このクラッチはビルトインエンコーダを構成可能で，静電気力を発生する駆動電極を用いて，回転角度を検出可能であることが確認されている[3]．

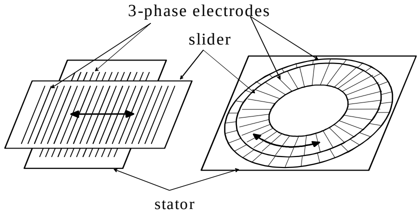
本研究では，さらにこの静電クラッチの回転軸トルク情報から回転位置制御するインピーダンス補償器を設け，回転軸に様々な機械的特性を実現した．また，静電モータ駆動時の回転角度をビルトインエンコーダによって検出することを試みたので報告する．

２．両電極交流駆動形静電モータ

２．１　基本構成

図1に両電極交流駆動形静電モータ（以下，静電モータ）の基本構成を示す．静電モータの基本構成はFPC(Flexible Printed Circuit) 基板フィルムからなる一対の移動子・固定子フィルムで構成される．それぞれのフィルムの厚さは約200μmであり，内部には帯状の三相平行電極が埋め込まれている．フィルム素材はポリイミド，電極は銅を素材としている．

図1(a)は直動型モータの基本構成であり，図1(b)は帯状の電極を放射状に配置することにより，回転型とした基本構成である．駆動時は移動子・固定子を重ね合わせて用いるが，フィルム間の摩擦低減のために直径20μmのガラスビーズやプラスチックビーズをフィルム間ギャップに散布する．静電モータの発生推力は印加電圧の2乗に比例しており，通常1kV程度以上の電圧で駆動するが，そのような高電圧を空気中で印加するとフィルム周辺の空気で絶縁破壊が発生する．そこで，それを防ぐために絶



(a)直動型　　(b)回転型
図1　静電モータの基本構成

＊ 東京大学大学院工学系研究科

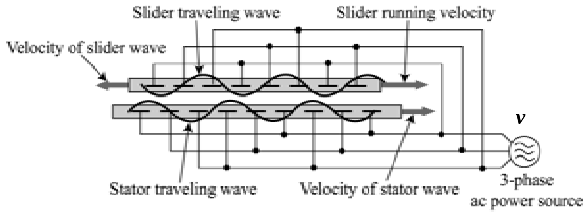


図2　駆動原理

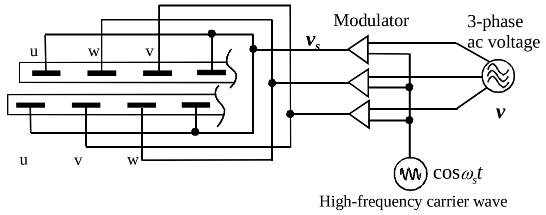


図3　変調駆動法

縁液（フロリナートFC-77 3M製，またはシリコンオイル）に浸した状態で使用する．

２．２　スキュー電極[4]

本静電モータは，移動子・固定子フィルム内の平行電極を互いに完全に平行に対向させた場合では，大きな推力リプルがあることが確認されている．そこで，推力リプルを低減する方法として，電極を斜めに配置するスキュー電極を用いる方法が考案されており，その最適な配置方法が解明されている[4]．

本静電クラッチでは保持トルクが回転角度によって変動することを防ぐためにスキュー電極を用いている．

２．３　静電モータの駆動原理

図2に静電モータへの電源の結線方法を示す．静電モータは三相交流電源$\boldsymbol{v}=v_0[\sin\omega_d t, \sin(\omega_d t-2\pi/3), \sin(\omega_d t+2\pi/3)]$で駆動し，同図に示すように，移動子フィルムと固定子フィルムの帯状平行電極に対し，互いに逆順となるように結線する．三相交流電圧$\boldsymbol{v}$を印加すると，移動子・固定子フィルムには図中太線で示すような電位分布が励起され，それらは互いに逆方向に速度$3pf$で移動する．ここにpは電極ピッチ，fは印加電圧周波数である．これら二つの電位分布には互いの空間的な位相差に応じた静電気力が働き，同期状態においては常に一定の位相差が保たれるように移動子が移動する．すなわち，二つの電位分布の相対速度がゼロに保たれるため，移動子は電位分布の速度の2倍の速度$6pf$で移動する．

基本的な駆動原理は前述したとおりであるが，モータを低速駆動もしくは停止保持する場合（印加電圧周波数が非常に低い場合）に推力が低下することが確認されている．そこで，これを解決する方法として，変調駆動法と呼ばれる駆動方法が考案されている[5]．変調駆動法の模式図を図3に示す．変調駆動法では，駆動電圧の三相交流電圧を高周波数の搬送波$\cos\omega_s t$と乗算し，$\boldsymbol{v}_c=\cos\omega_s t\boldsymbol{v}$としてアクチュエータに印加する．この駆動方法では，通常の駆動方式と比べると，同一振幅時の発生推力が搬送波の実効値の2乗である1/2倍にまで低下するが，低速駆動時や停止保持時の推力低下を回避することができる．本研究のように，静電モータをクラッチとして機能させるには，停止保持時の推力を保つ必要があるため，変調駆動法を用いる．

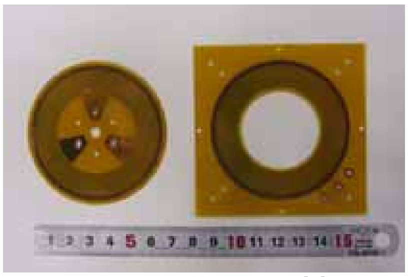


図4　静電クラッチ用静電フィルム


図5　静電クラッチの写真

３．静電クラッチ

３．１　固定子・移動子フィルム

図4に試作した静電クラッチの固定子･移動子フィルムの写真を示す．放射状に配置した電極は600本であり，電極間の中心からなす角度は0.6度，電極幅が中心からなす角度は0.3度である．各フィルムのドーナツ型の電極部分の内径と外形はそれぞれ40mm,60mmである．

３．２　試作機の製作

図5は，静電クラッチの写真を示す．静電クラッチのフレームはアクリル樹脂で試作した．フレームのサイズは幅92mm，奥行き92mm，高さ73mmである．

静電クラッチの回転軸には，ひずみゲージを貼り付け，クラッチ軸のトルク情報を得る．

今回，回転子フィルム10枚，固定子フィルム11枚を積層し推力を増大させた．移動子フィルムへの給電は回転軸にブラシを設け行った．また，ケース内には絶縁液(フロリナートFC77 3M製)を入れ，各フィルムは絶縁液に浸している．

４．静電クラッチのインピーダンス制御

従来の静電クラッチは，ある角度で静止しており，過

大な外力が加わると受動的に回転軸が空回りすることで，過負荷による大きな力を逃し，空回りした角度を同時に検出するものであった．今回は静電クラッチを能動的に回転型アクチュエータとして用い，軸トルクを検出して様々な機械的インピーダンスを出力軸に実現する．なお，外力によるトルクが静電モータの生成する最大トルクを上回る場合は，従来のように受動的に空回りする．

４．１　制御方法

回転型静電モータを用いて，基本的なインピーダンス補償器を実装した．図6に装置全体のブロック図を示す．以下にその流れを示す．

静電モータの回転軸に取り付けられたひずみゲージから軸トルクτを検出する．検出したトルクから所望の機械的インピーダンスを得るような回転角度θをインピーダンス補償器によって計算する．計算した値から静電モータの駆動信号を生成し，高電圧アンプで電圧を増幅して静電モータに印加する．

静電モータの変調駆動電圧は1.5kV$_{0\text{-}p}$に固定し，変調駆動の搬送周波数は100Hzとした．制御系と静電モータの駆動信号生成はMATLAB Simulinkシステム(Math-Works)とDSPシステム(DS1104,dSPACE)を用いて構成した．静電モータ駆動用の高電圧アンプにはAS-123(NF Corp)を用いた．

４．２　実験

４．２．１インピーダンス制御

出力軸の特性はインピーダンス補償器の各パラメータで設定でき，ここではインピーダンス補償器の固有振動数ω_n=1[sec]，減衰比ζ=0.1，0.7，1.0と設定した．実験方法は，静電モータ軸の固定プーリ（直径68mm）に柔軟なワイヤーロープを巻き, ロープの先に約80gの錘を取り付け，ステップ状の入力になるように，錘の自重による負荷を与えた．モータ軸の回転角度は回転軸にポテンショメータ（JT-22-320-500 COPAL ELECTRONICS）を設けて測定した．図7(a)～(c)に各減衰比での，インピーダンス補償器からの目標値と実際の静電モータの回転角度を示す．結果から，減衰固有振動数や減衰の様子から設定したインピーダンス特性が得られていることが確認できる．

４．２．２　ビルトインエンコーダによる回転位置検出

従来のビルトインエンコーダは，静止中のクラッチを外力によって回転させたときの回転角度検出が可能であることが確認されている．今回は回転型静電モータが能動的に回転しているときの回転角度を同様の手法で検出できるか実験した．

実験ではインピーダンス補償器の減衰比ζ=0.2振動数ω_n=1.0とし，外力（手動）によって回転軸を捻り，軸を離す時の挙動を測定した．図8には，そのときのインピーダンス補償器からの目標値とビルトインエンコーダの出力の結果を示す．

結果からビルトインエンコーダの出力から回転位置を検出可能であることが確認できた．しかしながら，実験

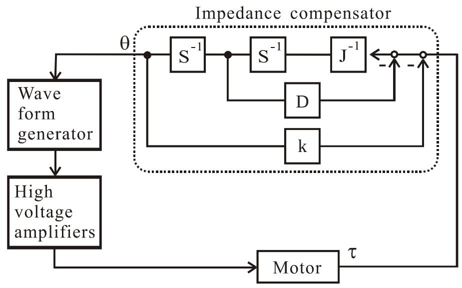
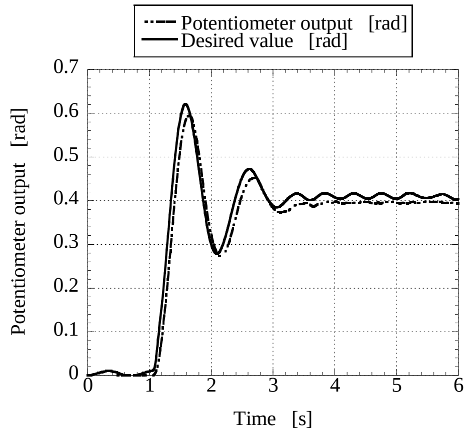
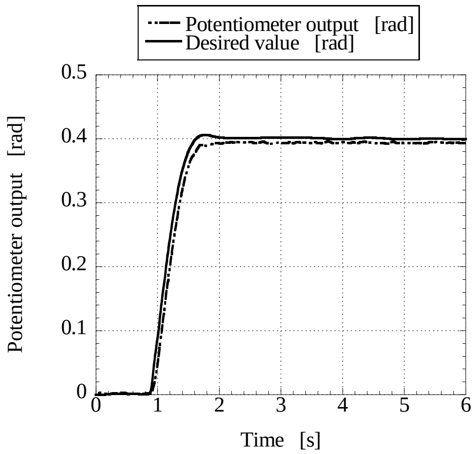


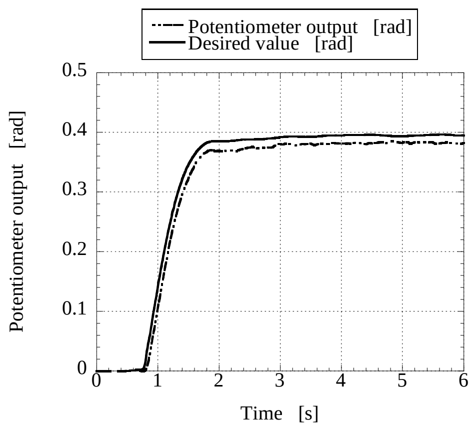
図6　装置全体のブロック図



(a) ζ=0.1



(b) ζ=0.7



(c) ζ=1.0

図7　静電クラッチの出力特性

中に静電モータを駆動する高電圧電源からの電気ノイズがビルトインエンコーダの信号処理回路に影響を与え，検出位置に大きなドリフトが度々発生することが確認された．この対策として，ビルトインエンコーダ回路を構成するフィルタ回路やセンサ電流検出用トランスの設計を考察する必要があると考えられる．

５．まとめ

回転型静電モータを用いて，様々な機械的インピーダンスを実現することが可能な静電クラッチを開発した．試作した静電クラッチを用いて，様々な機械的特性を得ることが可能であることが確認された．ビルトインエンコーダを用いて回転角度の検出を試みたところ，回転位置は検出可能であることが確認されたが，駆動電圧の電気ノイズが原因と考えられる検出角度の大きなドリフトが確認された．ビルトインエンコーダの角度検出をより安定させるためには，エンコーダ回路の設計を考察する必要があると考えられる．

謝　辞

本研究を遂行するにあたり，機械設備購入のために補助金を頂いた日本自転車振興会に深く感謝いたします．

文　献

[1] 森田寿郎，菅野重樹：メカニカルインピーダンス調節機構による関節制御 －機構の提案とロボット指への適用－，日本ロボット学会誌，Vol.14,No.1, pp.131-136 (1996)

[2] 新野俊樹，樋口俊郎，柄川索：交流駆動両電極形静電モータ, 日本ロボット学会誌, Vol.15,No.1,pp.97-102,(1997)

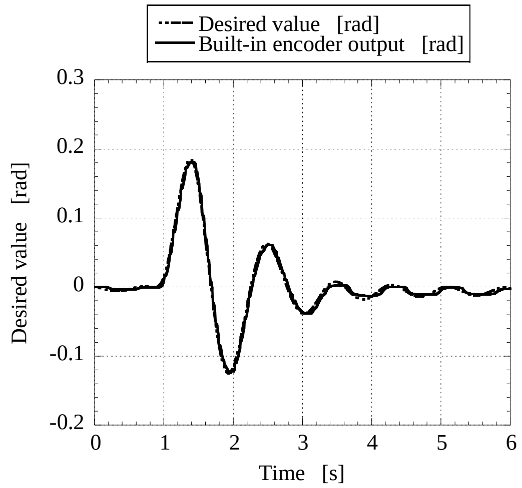


図8　インピーダンス制御したクラッチ軸出力と内蔵型エンコーダによる回転角度検出

[3] 西嶋隆，山本晃生，樋口俊郎，今井智彦，稲葉昭夫：ロボット関節用静電クラッチの開発，岐阜県生産情報技術研究所研究報告第６号，pp.45-50,(2005)

[4] 山本晃生，新野俊樹，坂高寿，樋口俊郎：電極の傾斜配置による静電モータの性能改善に関する解析，電気学会論文誌D，Vol.117-D,No.3,pp.373-378(1997)

[5] 新野俊樹，山本晃生，樋口俊郎：交流駆動両電極形静電モータの変調駆動, 電気学会論文誌, Vol.11,No.11, pp.1287-1291(1998)

アグリロボット要素技術の研究

光井　輝彰　　　小林　孝浩*　　　田畑　克彦

Development of Basic Technologies for Agricultural Robots

Teruaki MITSUI　Takahiro KOBAYASHI*　Katsuhiko TABATA

あらまし　本研究は農作業の補助や農産物の高品質化など，将来的に農業分野でロボット技術を活用するために必要となる要素技術について調査・研究を行う．県内には中山間地の比較的小規模な圃場が多いことから，圃場への導入が容易な小型のロボットを想定して移動機構の開発を行った．動作実験では水田内での走行性能とRTK-GPSを利用したロボットの位置制御について検討した．

キーワード　ロボット，農業，水田，不整地走行，RTK-GPS

１．はじめに

日本の農業を巡る情勢は，食料自給率が依然と低い水準にあることや，農業従事者の高齢化が著しいなど深刻な状態にある．さらに，海外からは農産物の貿易自由化を迫られ，国内では食の安全に関する議論の高まりから今まで以上に高品質な農産物が要求されるなど，日本の農業のあり方が全般的に見直されようとしている．このような状況の中，官学を中心に農業生産のロボット化にかかわる研究が進展している[1]．しかし，コストと安全性の問題を抱えていることから，近年ではロボットの小型化や農業の情報化への応用が期待されつつある．これらは県土の約7割が中山間地である岐阜県の農業に対しても応用が期待でき，農地の規模を拡大して生産性を高めるのではなく，小規模でも高品質な農産物を生産して差別化やブランド化を図る場合等に有効である．このような観点から，本研究は中山間地の比較的小規模な圃場において，除草等農作業の補助や有機栽培等農産物の高品質化に小型のロボットを活用することを目指し，そのために必要となる要素技術について調査・研究することを目的とする．ロボットの基本的な機能である移動機能には，圃場環境毎に最適な移動技術が求められ，その条件は一様ではない．そこで，ロボットが稼動するには最も厳しい環境の一つといえる，泥と水の不整地である水田を対象とした移動技術について検討を行う．本年度は次の３点について開発を行った．１）走行性安定化のための機構改善．２）基本的な制御機能としてジャイロによる姿勢制御．３）RTK-GPS[2]を使用した移動制御．１と２に関しては実際に水田で動作実験を行い，３は平坦な屋外のコンクリート上で実験を行った．

＊ 情報科学芸術大学院大学

２．移動機構の開発

有機栽培技術の高度化に関する研究[3]で開発したクローラユニットをベースとして開発を行った．クローラユニットはベルトの取り回しを工夫して，制御基盤やモータなどの電装部品を高い位置に設置して水から隔離している．これにより，ロボットの防水対策が容易になり，稲を跨いで走行することで稲へ与えるダメージを軽減することができる．しかし，重心が高くなったことで安定性が悪くなり，土壌の凹凸による影響を受けやすい．予備実験では，凹凸へのめり込みや乗り上げ，あるいは柔らかすぎる土壌を自ら掘り込むことにより，転倒やスタックに陥る危険性が確認されていた．

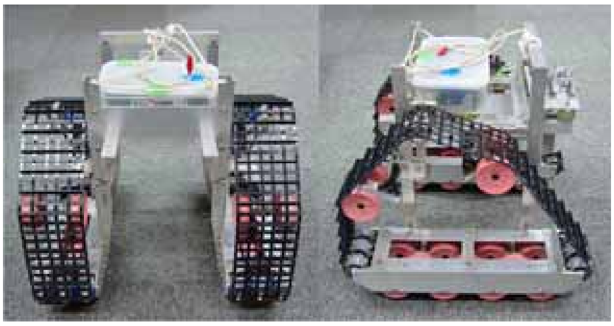


図１　移動機構

表１　ロボット諸元

全長	400mm
全幅	400mm（クローラ間200mm）
全高	370mm（クローラ間280mm）
全備重量	3,800g
モーター，ギヤ比	380モーター　59.77:1
バッテリー	NI-MH 3300mAh
本体フレーム	A6063
クローラベルト プーリー, スプロケット	KYOSHOブリザード プラスチックパーツ

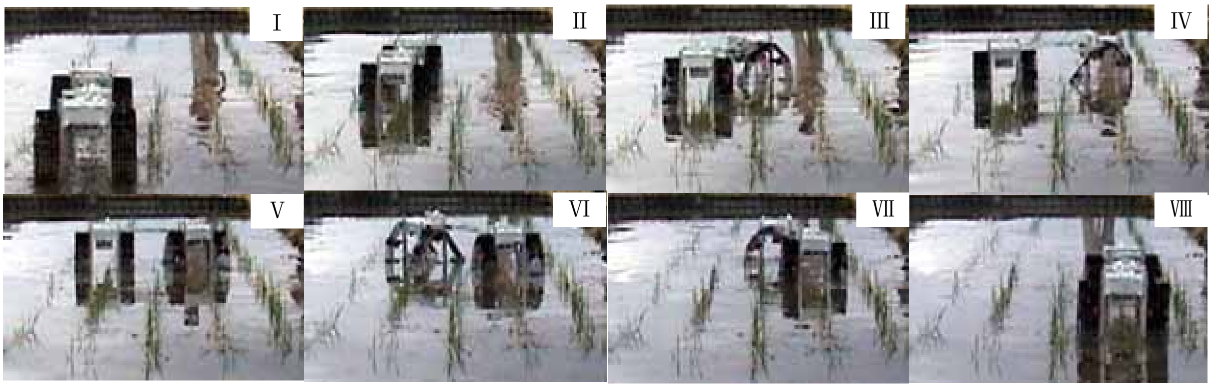


図２　旋回時の様子（前後クローラユニット連結機構あり）

Ⅰ：稲の条に沿って前進
Ⅱ~Ⅲ：前方クローラが90°旋回（同時に，リンク長を保ちながら前方クローラを少し右へ進め，後方クローラは少し前進）
Ⅲ~Ⅳ：前後のクローラがリンク長を保ちながらそれぞれ前進
Ⅳ~Ⅵ：前方クローラが次の稲条を跨ぐように90°旋回，リンク長を保ちつつ後方クローラも90°旋回
Ⅵ~Ⅶ：前後のクローラがリンク長を保ちながらそれぞれ前進
Ⅶ~Ⅷ：前方クローラの後で，後方クローラが稲の条を跨ぐように90°旋回し，稲の条に沿って前進

２．１　クローラユニットの改良

図１にクローラユニットの外観を,表１に諸元を示す.水田での予備実験では，土壌の凹凸への引っかかりや泥の巻き込みにより，クローラベルトがよじれて外れることが多かった．そこで，接地面とテンショナープーリーの数を増やし，クローラベルトが極力ねじれないようにした．また，プーリー内部を発泡ウレタンで充填して水や泥の浸入を防ぐとともに，クローラ自体に浮力を持たせた．接地部分のプーリー全体で浮力は約550gとなる．走行実験では，ベルトが外れることは無くなり，土壌への沈み込みも軽減した．改良前はスタックしたり転倒したりしていた土壌条件を走破できるようになり，走破性が向上した．

２．２　連結機構の開発

クローラユニットは稲を跨ぐ形で横方向に接地面積を広げているが，重心が高く前後方向のバランスが悪い．接地クローラ長を長くすれば安定するが，旋回時に必要な面積と摩擦が大きくなり弊害は多い．そこで，クローラユニット２台をリンクで前後に接続することにより，前後方向の安定性の向上を図った．リンクと各ユニットの接合部には旋回軸を設け，旋回角度はアブソリュートエンコーダで計測できる仕様とした．旋回時の様子を図２に示す．前後ユニット間の距離を保ちながら，前方のユニットから順に旋回を行うことで，旋回時に必要となるスペースをユニット単体とほぼ同じ大きさに抑えることができる．リンク長は図２Ⅴの状態で前後クローラユニットの中心距離が600mm（稲条間隔の2倍）となるので，前方のユニットは後方のユニットを支点として旋回することで，確実に次の条間に進入することが出来る．また，リンク部分は各ユニットと緩衝材を介して接続しているので，様々な土壌表面形状に柔軟に対応することが可能である．



図３　走行実験の様子
クローラの沈み込みによるスタックは無く，走行中は揚力により沈み込みの量はさらに減少する．上2枚は標準的な水量（約10㎝），下2枚が落水後．落水後はクローラベルトへの泥の付着と，接地部の沈み込みが確認できる．

２．３　圃場走行実験

図３に代掻き後１週間の水田における走行実験の様子を示す．水田内の水量が少ないと，クローラに泥が付着したままで，重量と摩擦の増加によりロボットの動作効率が極端に悪くなる．ある程度の水量がある方がクローラに付着した泥が動作中に洗い流されて動作が良好であった．水田内の土壌の柔らかさに関しては，柔らかすぎると推力を得られる以前に土壌を掘り込んでスタックしてしまうため，制限が必要である．実験では田植えをする際の標準的硬さ（稲が倒れない着床可能な土壌の硬さ）であれば，問題なく走行可能なことを確認した．

クローラユニット単独の場合と比較すると全般的に走破性と安定性が向上しており，リンクを解してお互いに補助し合うことで，水田内に想定される足跡等の凹凸は問題なくクリアできる．

３．ロボットの姿勢制御

これまで，水田での走行実験においてロボットを意図した方向へ直進させることは非常に困難であった．田植え時の足跡など土壌の凹凸にクローラが填まり込んでしまったり，あるいは平坦な土壌であってもクローラベルトがスリップしたりすることが主な原因であり，ロボットは容易に想定外の方向に向いてしまう．これは，連結機構を持たせても回避できない．そこで，ジャイロセンサーを用いた姿勢制御機能を開発し，その有用性を検証した．

３．１　システムの構成

図４にシステム構成を示す．本システムは移動機構であるクローラユニット（アイガモロボット）本体と，これを制御する外部のPCとから構成される．クローラユニットとPCは無線で接続されており，プロポ型ジョイスティックから入力される移動速度（モーターへの出力値）と姿勢（制御目標値としての方向）を，PCを介して与える．クローラユニットにはマイコン（PSoC）が搭載されており，模型用のアンプにPWM波形を与えることで，左右のモータ出力を制御している．搭載されたジャイロからの出力はマイコンにより50Hzで積分され，クローラユニットの垂直軸周りの回転運動を角度として検出する．PCからは5Hzで制御値の更新が可能であり，後述する姿勢制御の有無の切り替えが指示できる．

３．２　姿勢制御

ロボットの姿勢はジャイロ出力を積分して得られる角度をフィードバック信号として，速度系アルゴリズムでPID制御する．ここで得られる操作量は左右で符号を変えて，左右クローラの速度の変化量として反映される．クローラユニットへの入力値は，線形補正した無負荷の状態における入力と速度の関係を用いて正規化を行う．制御周期はクローラユニットの動作特性を考慮して10Hzとした．図５に制御モデルを示す．制御はマイコン内部で行っている．PID制御の各パラメータは限界感度法を用いて設定した．なお，ジャイロのニュートラル検出はマイコンの起動時とリセットコマンド送信時の2秒間で行っている．

３．３　姿勢制御実験

実験は10m程度の水田をテストフィールドとしてクローラユニット単体で行った．姿勢制御が無い場合は平坦な路面でも進行方向のずれが蓄積し，10m進むとその方向は大きくずれ，目標とした到達点からの位置のずれも大きくなった．

図６は姿勢制御の安定性を検証するために，走行条件を厳しく設定したときの実験結果を示す．土壌表面は障害物や足跡により凹凸を強調し，水の分布を偏らせて滑りやすさにも変化を持たせた．この条件でクローラユニットを往復させたときの直進性を観察した．図を上下に貫いている直線は初期姿勢の方向を延長したものであり，

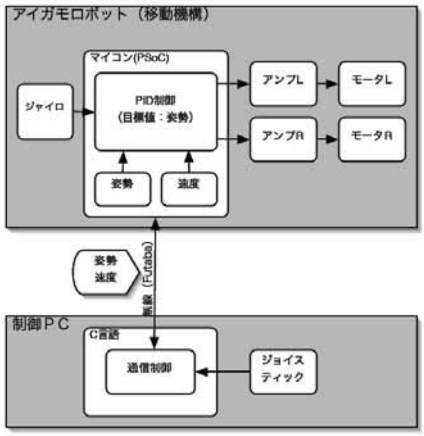


図４　システム構成１

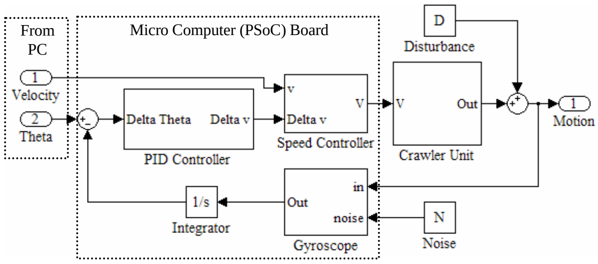


図５　ロボットの制御モデル

Theta：PCからのクローラの姿勢（角度）入力
v ：PCからのクローラ直進速度入力
V ：クローラユニットへの速度入力（左右モータアンプへのPWM）

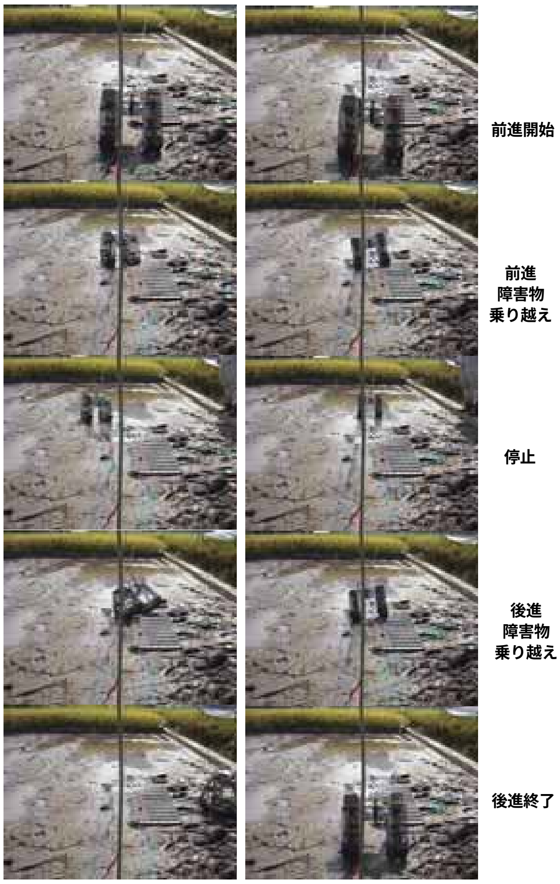


図６　姿勢制御実験（上から順に前進・停止・後進）

姿勢制御なしでは凹凸で進行方向が変わってしまう．
姿勢制御ありでは路面状況によらず姿勢が維持され，
ほぼ同じ位置へ戻って来ることが出来る．

理想的に動作すればこの直線に添って移動することになる．ジャイロによる姿勢制御が無い場合（同図左）は，凹凸を乗り越える際に大きく姿勢を崩し，直進性を保つことは不可能であった. 一方, 姿勢制御を行った場合（同図右）には，常に姿勢が安定しており，軌跡も一直線状になっている．一連の実験において，制御による異常な振動やオーバーシュートが生ずることはなく，10mの区間を往復する限りではジャイロのドリフトによる影響もなかった．

この姿勢制御はジャイロの応答が速いことから，高周波領域における姿勢安定を図ることが期待できる．次章で述べる位置制御と併用すれば，アグリロボットの走行経路を適切に制御するために非常に有効であると考える．

4．RTK-GPSによるロボットの位置制御

圃場内でロボットを制御する際にロボット自身の位置情報は非常に有力となる．近年，屋外での移動体制御にRTK-GPSを使用する事例が増えつつあるが，農業分野では大型農耕機での利用がほとんどである．本研究では小型ロボットによる不整地走行において，RTK-GPSの利用を試みる．基地局はTrimble5700とZEPHYRジオテックアンテナ，移動局はTrimbleBD950とZEPHYRアンテナを使用した．

4．1　RTK-GPSによる計測実験

RTK-GPSは基地局と移動局で構成され，それぞれが受信したGPS衛星からの電波を，搬送波の位相レベルで実時間解析する．この結果を元に，既知点に設置された基地局では補正情報を生成して移動局に送信し，移動局ではこの補正情報を利用してcmオーダーの精度の高い位置情報を出力することが可能となる．ただし，補足衛星数やその配置により測位精度が左右されることから，実際の使用環境における計測状況の確認を行った．

図７に計測実験の様子を，図８に移動局を静止させた場合，地表で直線動作させた場合，水平高さの異なる場所に順設置した場合の計測結果を示す．計測結果は緯度経度情報を平面直角座標[4]に変換した後，任意位置との相対距離として表した. スペック上の精度は水平精度(１シグマ：標準偏差)が1cm + 1ppm，垂直精度(１シグマ)が2cm + 1ppmであり，ほぼスペック通りの精度が得られることを確認した．計測時の周辺環境の影響については，アンテナ角度とアンテナ上空の見通しに変化を与えて調べた．その結果，実験時の状況では，前者は前後45度程の傾斜まで, 後者はアンテナ付近を人が歩く程度ならば, 計測結果に影響が出ないことを確認した．

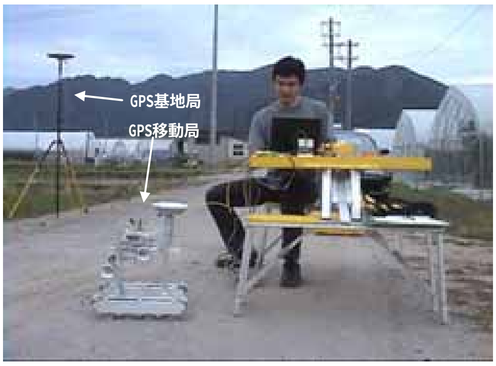


図７　RTK-GPS**計測実験の様子**

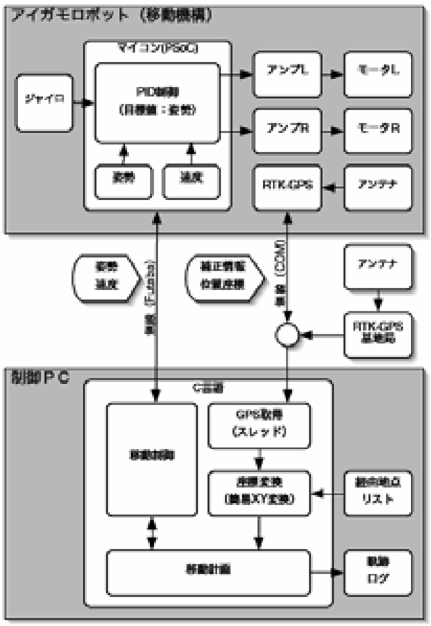
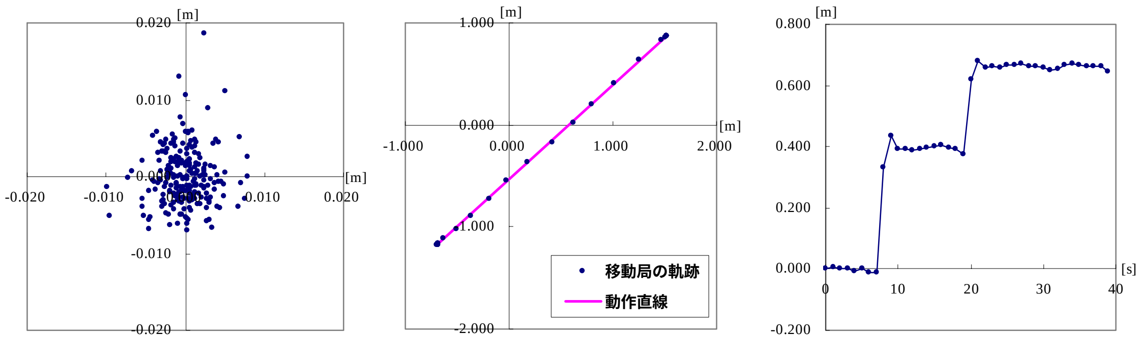


図９　システム構成２



停止時の計測データ
のばらつき（水平方向）

直線動作させたときの
計測データ（水平方向）

垂直高さを変えたときの計測データ
（垂直高さ0cm,40cm,65cm**に設置）**

図８　RTK-GPS**移動局の計測結果**

４．２　RTK-GPS移動局システムの搭載

システムの構成を図９に示す．３．１のシステムをベースとしてRTK-GPS移動局を搭載し，GPSの補正情報と測位データの通信用に無線を追加するなどの改良を行った．制御PCとロボットとの通信は5Hz，移動局への補正情報の送信は1Hz，移動局の測位情報は5Hzで取得する．RTK-GPS移動局システムを搭載したロボットを図１０に示す．

４．３ 位置制御手法

ここでは，GPSを利用した制御の手始めとして，GPSの座標系で与えられた既知点に向かって走行する，という単純なタスクを実現するためのアルゴリズムを提案する．まず内部状態を表す変数として，自己の推定方向とこれに含まれる誤差，自己の現在座標と目標とする通過地点の座標を持つ．主な制御動作は，進行方向の推定，進行方向の修正（ステアリング）の二つからなる．図１１は，任意の直進区間で自己進行方向を推定する様子を示す．３章の姿勢制御で直進するローバーは，GPSから逐一送られてくる現在座標を元に，進行方向を推定する．その際，GPSの計測誤差を踏まえ，推定方向とこれに含まれうる方向の誤差を計算する．図の円は，過去のある時点でのローバーの位置と，現在のローバーの位置を示し，その周りの円は計測誤差を示している．二つの円の中心を貫く直線を推定方向とし，接線がなす角を方向誤差とした．直線区間が長くなるほど方向誤差は小さくなるため，内部状態と比較して精度が高い情報が得られた場合に，逐一状態を更新するものとする．図１２は，進行方向の修正(ステアリング)制御の様子を示している．状態Aのように，目標到達地点が誤差を含めた推定方向に含まれていればステアリング制御は行わない．さらに前進して状態Bのように方向のずれが認識できた段階で方向の修正を行い，その時点で計測された位置から目標地点へ向かう方向と推定方向との差に相当する角度分の方向修正を行う（状態C)．この方向修正は３章の姿勢制御により行う．

本手法では，進行中にロボットの進行方向を推定することで，ジャイロのドリフトによる影響を軽減することが期待でき，実験はロボットの姿勢方向を意識することなく任意の状態から開始することが出来る．

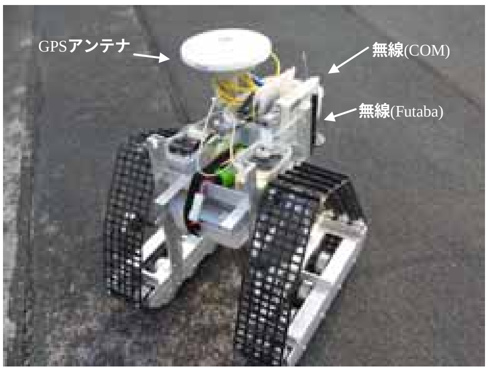


図１０　RTK-GPS**移動局システムを搭載したロボット**

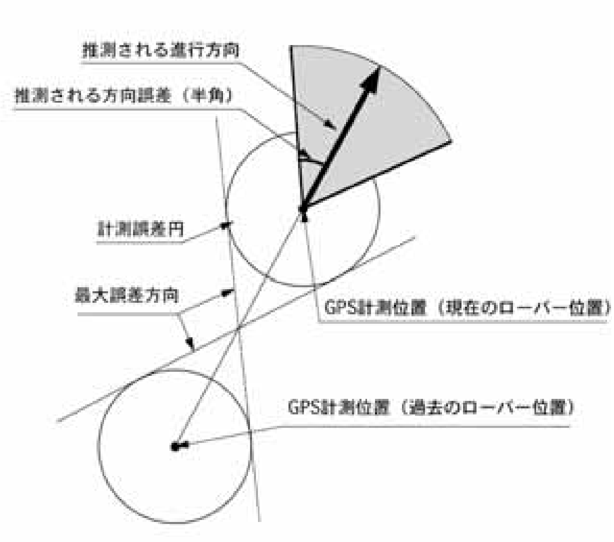


図１１　自己位置と進行方向の推定

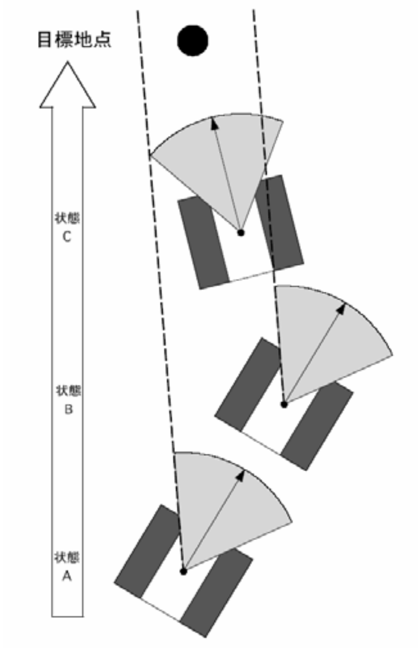


図１２　走行中の方向の制御

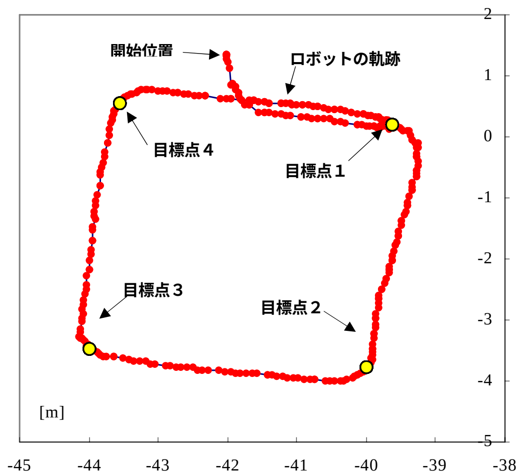


図１３　位置制御実験の計測結果

４．４ 位置制御実験

４．３のアルゴリズムの妥当性を検証することを目的として, 建物の屋上（コンクリート上）で実験を行った．実験は, あらかじめ計測した4つの既知点（図１０の目標点１～４）を順に通過させるもので，最初の目標点１から順次このアルゴリズムを用いて到達させ，目標点４に到達した後は目標点１に到達させて終了とした．目標点に到達して次の目標点を目指す際には，加減速の調整も行い，通信遅れやロボットの挙動の遅れなど系全体の遅れに配慮した．図１３に計測結果を示す．この結果は上手く動作したときの一例であり, 指定した4点を精度良くローバーが通過していることが確認できる．しかし実験中には，推定方向の精度を充分に上げられず，軌跡が蛇行したり，目標地点の近くで円を描くなどの動作も観察された．今後はこれらの対処を行うとともに，既知点を通過するだけでなく，指定した点を通過する際の姿勢とそのためのコース取り，点間を結ぶ線分に沿った走行方法などを検討する必要がある．

５．まとめ

水田内を移動するための移動機構の開発と制御方法の検討を行った．今後は，前後クローラユニットの協調動作手法を検討するとともに，GPSによる位置制御手法を発展させ，圃場内の任意の軌道をロボットが自律的に走行することを目指して開発を進める．水田での動作実験では，実際の現場で想定通りの動作をロボットが行えるかを確かめ，圃場でロボットを活用する際の課題を調査する予定である．

謝辞

本研究の圃場実験は中山間農業技術研究所で行いました．実験圃場の準備と実験中の多大なる協力に深く感謝いたします．

文　献

[1] 鍵谷俊樹，瀧孝文，徳原功, “ 有機物施用による高冷地の良食味米生産技術-マルチ用再生紙利用による減農薬稲作の確立- ”，平成４年度岐阜県高冷地農業試験場研究年報，pp.21-22，1993

[2] 谷口正治，鍵谷俊樹，瀧孝文，徳原功, “ 有機物施用による高冷地の良食味米生産技術-レンゲ利用による有機質栽培技術- ”，平成３年度岐阜県高冷地農業試験場研究年報，pp.21-22，1992

[3] 稲葉光國, “ 除草剤を使わないイネつくり ”，民間稲作研究所編，農分協，pp47-51，1999

[4] “ 平面直角座標への換算 ”, http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/bl2xyf.html

岐阜県生産情報技術研究所研究報告　第7号　平成17年度

発行　　　　平成18年6月12日

編集発行所　岐阜県生産情報技術研究所

岐阜県各務原市須衛町4-179-19

TEL:058-379-3300

FAX:058-379-3301

http://www.cc.rd.pref.gifu.jp/~imit/